



## Relationship between the physical parameters of socket wrench hand tool with the electrical activity level of forearm muscles among maintenance unit workers of a university

**Mostafa Pouyakian**, Assistant professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

**Mohammad Ranjbarian**, Lecturer, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

**Khosro Khademi-Kalantari**, Associate professor, School of Rehabilitation Sciences, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

**Soheila Khodakarim**, Associate professor, Department of Epidemiology, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

**Mahnaz Ahmadlu**, (\* Corresponding author) MSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. [m.ahmadlu89@gmail.com](mailto:m.ahmadlu89@gmail.com)

### Abstract

**Background and aims:** International Labor Organization (ILO) 2015 report shows that about 40% of the all total compensation for work-related diseases and accidents in the world is due to musculoskeletal disorders. According to UK Health and Safety Executive (2019) 41% of all registered Work related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) are due to upper limbs. Hand, arm, and forearm are most important limbs of human body to work. Hand tools, especially non-powered hand tools, are responsible for a significant portion of damages. Many different types of hand tools are used in industrial, services, and domestic activities including wrenches, pliers, screwdrivers, clamps, snips, saws, etc. The use of hand tools is accompanied by repetitive movements and previous studies have shown that inappropriate design of hand tool can damage human joints, tendons and muscles. Repetitive movements are one of main causes of musculoskeletal injuries. In order to achieve high levels of comfort, safety, and efficiency of hand tools, physical abilities and limitations of users must be taken into account in design phase. Also, women and left-handed people must be considered in design of hand tools due to their different body dimensions and abilities. These factors are directly influences the trading of hand tools. Handle design is an important factor in the safe, convenient and ease of use of non-powered hand tools. Socket wrench is a single-wrench that is widely used to open and close the bolts and nuts that require high force and high speed operation. Due to wide usage of socket wrench this study aimed to investigate the relationship between physical parameters of length and diameter of handle, and weight of different models of socket wrench with electrical activity of two selected forearm muscles. We examined the correlation between three physical parameters of six trade model of socket wrenches.

**Methods:** This descriptive-analytical study performed among 58 male workers of the installation and maintenance unit staff of a university. Their ages ranged from 25 to 45 years. All participants were right-handed, healthy, and without history of upper limb injury or musculoskeletal disorders. They had at least one year of job experience in maintenance unit of university, and their body mass index was between 20-30. Six different types of socket wrench were selected and named with alphabetic codes A, B, C, D, E, F. Selected wrenches were differed in length and diameter of handle, and weight (Table 1).

**Table 1.** Characteristics of the Socket wrenches

Type of socket wrench	Handle length (mm)	Handle diameter (mm)	Weight (gr)
A	225.52	25.76	439.77
B	158.30	18.14	240.21
C	235.16	37.82	570.58
D	228.78	18.36	592.08
E	186.68	29/20	348.90
F	185.70	33.56	235.21

A simulated task were designed according to usual usage of wrench users. This task was consist of opening the bolts using 6 types of wrenches. For this purpose, a wooden plate was fitted on a table with 12 fitted bolts and nuts of size 10. All bolts and nuts were fastened on the plate using a torque

### Keywords

Hand tool,  
Surface Electromyography,  
Ergonomics,  
Socket Wrench,  
Flexor Digitrum  
Superficialis,  
Extensor Carpi Radialis  
Brevis

Received: 20/11/2018

Published: 03/08/2020

meter with 8 Nm. The height of task surface was in 95 percentile of elbow height of males (104 cm). However, it was possible to adjust the height of the table with the elbow height of each participant. Participants were asked to stand behind the desk and perform the activity of opening the bolts with each of six wrenches. The order of use of wrenches for each participant was random. The steps of each trial were as follows: step 1) select the right socket; step 2) attach the socket to the handle; step 3) check turning direction; step 4) open the bolts.

Surface Electromyography (SEMG) was applied to record the electrical activity of forearm muscles. The flexing muscle of the fingers and wrist extensor muscles play important role in gripping the wrench handle and using it to perform the simulated task. Therefore, the Flexor Digitorum Superficialis (FDS) and Extensor Carpi Radialis (ECR) muscles were considered for the recording the surface EMG signals. The steps of recording EMG signals were as follows: step 1) finding the flexor digitorum superficialis and extensor carpi radialis muscles on participant's forearm; step 2) preparing the skin to connect the electrodes; and step 3) connecting the electrodes. A surface EMG apparatus made by Biometrics Ltd. was used in this experiment. Since the independent (length and diameter of handle and weight of wrench) and dependent variables (EMG signals) were both quantitative, linear regression model was used to examine the relationship between the two quantitative variables and the data were analyzed by SPSS® 21 software.

**Results:** The mean of participants' age, height and weight were 39.95 year, 175.7 cm, and 72.9 kg, respectively. Mean and standard deviation of normalized electrical activity of FDS and ECR muscles are shown in Table 2.

**Table 2.** Mean (SD) of normalized electrical activity of flexor digitorum superficialis and extensor carpi radialis muscles

Type of socket wrench	Mean (SD) of electrical activity of muscles (mv/s)	
	FDS muscle	ECR muscle
A	0.45 (0.21)	0.47 (0.22)
B	0.61 (0.25)	0.48 (0.23)
C	0.43 (0.23)	0.46 (0.24)
D	0.55 (0.24)	0.45 (0.21)
E	0.48 (0.23)	0.44 (0.21)
F	0.50 (0.22)	0.43 (0.22)

The results showed that the lowest level of electrical activity of FDS muscle was belonged to type C wrench, which had the longest handle length and largest handle diameter. On the opposite side, the highest level of electrical activity of FDS muscle was belonged to type B wrench with shortest handle length and smallest handle diameter. Lowest and highest levels of electrical activity of ECR muscle were belonged to type F and B wrenches, respectively.

A linear regression test was used to examine the relationship between the electrical activity of Flexor Digitorum Superficialis muscle and the physical parameters of the socket wrenches. The results showed that there is a significant relationship between the electrical activity of FDS muscle and the wrenches' handle length and diameter ( $p < 0.001$ ). Based on regression models, for one millimeter increase in handle length and diameter, the level of electrical activity of the flexor muscles decreased by 0.001 and 0.007 mV, respectively. Simple and multiple regression models showed no significant relationship between the electrical activity of ECR muscle and physical parameters of wrenches ( $p > 0.001$ ).

**Conclusion:** The present study showed that there is no significant relationship between the weight of the wrench and the electrical activity level of the Flexor Digitorum Superficialis muscle. This indicates that muscles other than FDS are involved in controlling the weight of hand tool.

In power grip tasks (such as working with a wrenches), the handle diameter and length of the tool are important parameters. Therefore, wrenches with a longer handle length and a larger handle diameter provide the lowest level of electrical activity of the FDS muscle to open the bolts. This results to lower levels of muscle fatigue. Therefore, the force required to open the bolts can be reduced by choosing a longer handle and a larger handle diameter (near to optimum diameter). The findings of this study can be used by hand tools manufacturers to improve tool design. Also, differences in the ergonomic characteristics of different types of a hand tool can be well documented using electromyography.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** None

### How to cite this article:

Pouyakian M, Ranjbarian M, Khademi-Kalantari Kh, Khodakarim S, Ahmadlu M. Relationship between the physical parameters of socket wrench hand tool with the electrical activity level of forearm muscles among maintenance unit workers of a university. *Iran Occupational Health*. 2020 (3 Aug);17:25.

\*This work is published under [CC BY-NC-SA 3.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)



## ارتباط پارامترهای فیزیکی ابزار دستی آچاربکس با سطح فعالیت الکتریکی عضلات ساعد در کارکنان تأسیسات یک مرکز دانشگاهی

**مصطفی پویاکیان:** استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

**محمد رنجبریان:** مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

**خسرو خادمی کالانتاری:** دانشیار، گروه فیزیوتراپی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

**سهیلا خداکریم:** دانشیار، گروه اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

**مehناز احمدلو:** \* نویسنده مسئول) کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. [m.ahmadlu89@gmail.com](mailto:m.ahmadlu89@gmail.com)

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

ابزار دستی،  
الکترومیوگرافی سطحی،  
ارگونومی،  
آچاربکس،  
عضله بازکننده‌ی مچ دست،  
عضله خم‌کننده‌ی انگشتان دست

**زمینه و هدف:** با وجود پیشرفت اتوماسیون و مکانیزاسیون، هنوز هم ابزارهای دستی در طیف گسترده‌ای از کارهای صنعتی و خدماتی مانند تعمیرگاه، خطوط تولید و مونتاژ، و مشاغل نصب و تأسیسات استفاده می‌شود. کیفیت طراحی ابزارهای دستی روی پارامترهای فیزیولوژیک کاربران مانند فعالیت الکتریکی عضلات و همچنین پارامترهای بیومکانیکی مثل نیروهای اعمال شده، فشار تماسی، میزان قدرت چنگش اعمال شده و درک ذهنی کاربران مانند راحتی تأثیرگذار است. استفاده طولانی مدت و تکراری از این ابزارآلات باعث احساس خستگی، ترومای تجمع‌ی، درد و ناراحتی و افزایش احتمال بروز اختلالات اسکلتی-عضلانی اندام فوقانی در صاحبان این مشاغل می‌شود. ارزیابی ابزارهای دستی نقش مهمی را در تولید طرح‌های بهتر با تأکید بر تناسب کاربر با محصول، افزایش راحتی و کاهش خطر آسیب به اندام‌های فوقانی دارد. هدف پژوهش حاضر بررسی ارتباط پارامترهای فیزیکی (طول، قطر و وزن) شش مدل آچاربکس مرسوم در بازار با سطح فعالیت الکتریکی عضلات ساعد در یک وظیفه شبیه سازی شده بود.

**روش بررسی:** این مطالعه توصیفی-تحلیلی به روش همبستگی روی ۵۸ نفر از کارکنان تأسیسات شاغل در یک مرکز دانشگاهی انجام پذیرفت. در ابتدا شش مدل از رایج‌ترین آچاربکس‌های عرضه شده در بازار انتخاب شد. سپس از طریق طراحی یک وظیفه شبیه سازی شده ارتباط پارامترهای فیزیکی (طول، قطر و وزن) شش مدل آچاربکس با سطح فعالیت الکتریکی عضلات خم‌کننده انگشتان دست و بازکننده مچ دست از طریق باز کردن ۱۲ پیچ و مهره با گشتاور ۸ NM مورد بررسی قرار گرفت. از شروع باز کردن اولین پیچ و مهره تا مهره دوازدهم فعالیت الکتریکی دو عضله یاد شده با استفاده از دستگاه الکترومیوگرافی سطحی ثبت گردید.

**یافته‌ها:** یافته‌ها نشان داد که ارتباط بین پارامترهای فیزیکی طول و قطر آچاربکس‌ها با سطح فعالیت الکتریکی عضله خم‌کننده انگشتان دست از نظر آماری معنی دار می‌باشد. اما بین سطح فعالیت الکتریکی عضلات بازکننده مچ دست با پارامترهای فیزیکی (طول، قطر و وزن) ارتباط آماری معنی داری مشاهده نشد. بر اساس نتایج الکترومیوگرافی کمترین سطح فعالیت الکتریکی عضلات خم‌کننده انگشتان مربوط به آچاربکس نوع C و پس از آن به ترتیب مربوط به آچاربکس‌های نوع A، E، F و D بود. بیشترین سطح فعالیت الکتریکی عضلات خم‌کننده انگشتان مربوط به آچاربکس نوع B بود. آچاربکس مدل B بعنوان نامناسب‌ترین مدل از نظر سطح فعالیت الکتریکی عضلات دست انتخاب گردید. همچنین تفاوت معنی داری از نظر آماری بین نوع آچاربکس با سطح فعالیت الکتریکی عضله بازکننده مچ دست یافت نشد.

**نتیجه‌گیری:** در وظایف چنگش قدرتی (مانند کار با انواع آچارها) طول و قطر دسته ابزار از پارامترهای مهم محسوب می‌شود. استفاده از آچاربکس‌های با طول دسته بلندتر و قطر بیشتر (نزدیک به قطر بهینه) سطح کمتری از فعالیت الکتریکی عضلات خم‌کننده انگشتان دست را برای کاربران در پی خواهد داشت و این امر منجر به کاهش خستگی عضلات کاربران در حین کار می‌شود.

*تعارض منافع:* گزارش نشده است.

*منبع حمایت‌کننده:* حامی مالی نداشته است.

شیوه استناد به این مقاله:

Pouyakian M, Ranjbarian M, Khademi-Kalantari Kh, Khodakarim S, Ahmadlu M. Relationship between the physical parameters of socket wrench hand tool with the electrical activity level of forearm muscles among maintenance unit workers of a university. Iran Occupational Health. 2020 (3 Aug);17:25.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با [CC BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/) صورت گرفته است

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۲۹

تاریخ چاپ: ۹۹/۰۵/۱۳

## مقدمه

حدود ۴۰٪ از کل غرامت های پرداختی بابت بیماریها و حوادث ناشی از کار در دنیا به اختلالات اسکلتی عضلانی اختصاص دارد. اهمیت این عدد زمانی مشخص می شود که بدانیم رتبه دوم و سوم این آمار به بیماری های قلبی و عروقی و حوادث شغلی مربوط است که به ترتیب تنها ۱۶٪ و ۱۴٪ از غرامت ها را به خود اختصاص می دهند (۱). از این میان اختلالات مربوط به اندام فوقانی سهم بیشتری از کل اختلالات را به خود اختصاص می دهند. بنابر آمار اداره ایمنی و بهداشت انگلستان که در سال ۲۰۱۹ منتشر شده است، ۴۱٪ از اختلالات اسکلتی عضلانی ثبت شده در این کشور مربوط به اندام های فوقانی (دست و بازو) و گردن بوده است. جالب توجه این است که این عدد از آسیب های گزارش شده برای کمر نیز (۴۰٪) اندکی بیشتر است (۲). دست و بازو مهم ترین اندام های انسان برای کار هستند و انسان ها در زندگی روزمره خود با طیف گسترده و متنوعی از ابزارهای دستی مواجه می شوند. بنابر آمار اداره آمار کار آمریکا (۲۰۰۴) ابزارهای دستی مسئول ۴۶٪ از صدمات وارده به انسان هستند (۳) و ابزارهای دستی غیر برقی مسئول سهم بیشتری از این صدمات هستند (۴). همچنین بر اساس گزارش دفتر آمار کار در سال ۲۰۰۵، ۱۳/۹٪ از آسیب های ناشی از کار تکنسین های مربوط به مشاغل خدمات خودرو و مکانیک ها ناشی از ابزارهای دستی است.

ابزارهای دستی غیر برقی طیف بزرگی از تجهیزات هستند که به طور روزمره در بسیاری از فعالیت های صنعتی، خدماتی و حتی خانگی مورد استفاده قرار می گیرند و همانگونه که از نام آنها پیداست با استفاده از نیروی دست به کار گرفته می شوند (۵). انواع آچار، پیچ گوشتی و انبر تنها بخشی از ابزارهای دستی متنوعی هستند که در این فعالیت ها مورد استفاده قرار می گیرند. در صورتی که طراحی این ابزارها یا نحوه استفاده از آنها صحیح نباشد، می تواند صدمات قابل توجهی را ایجاد کنند (۶). مطالعات انجام شده در دهه های گذشته نشان داده اند که طراحی ابزار می تواند علاوه بر افزایش میزان انرژی مصرفی و خستگی سبب آسیب به مفاصل، تاندون ها و عضلات شوند (۴). استفاده از ابزارهای دستی به طور معمول با انجام

حرکات تکراری همراه است. حرکات تکراری یکی از منابع ایجاد آسیب های مزمن اسکلتی عضلانی هستند. این صدمات عموماً به دلیل طراحی نامناسب ابزار یا استفاده از ابزار برای کارهایی غیر از هدف طراحی شده روی می دهند. آسیب های وارد شده به دست، انگشت، مچ دست و شانه ها بیشترین صدمات اندام فوقانی مرتبط با ابزارهای دستی است (۷) و کارایی انسان در انجام کار را به شدت کاهش می دهد (۴). بار و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کرده اند که بیشترین روزهای غیبت از کار در آمریکا به دلیل آسیب های اسکلتی عضلانی در ناحیه دست و مچ دست بوده است (۸).

برای اطمینان یافتن از راحتی، ایمنی و کارایی استفاده از این ابزارها حتماً باید توانایی ها و محدودیت های فیزیکی و بدنی انسان در طراحی و ساخت ابزارهای دستی در نظر گرفته شود (۹). همواره باید در طراحی ابزارهای دستی زنان و افراد چپ دست مد نظر قرار بگیرند چرا که بخشی از جامعه را تشکیل داده و دارای خصوصیات ابعادی و توانایی های متفاوتی هستند (۱۰). کویجت - اورت و همکاران (۲۰۰۴) شش فاکتور مهم در راحتی استفاده از ابزارهای دستی را شناسایی کردند که شامل کارایی، وضعیت اندام و عضلات در هنگام استفاده، تحریک و درد دست ها و انگشتان، تحریک سطح دست، ویژگی های دسته و زیبایی بودند (۱۱). بر این اساس قطر و طول دسته (به عنوان عوامل مؤثر بر ویژگی های دسته)، و وزن ابزار (به عنوان عامل مؤثر بر آسیب به دست ها و انگشتان و وضعیت دست در هنگام به دست گرفتن ابزار) از مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر بهینه سازی چنگش ابزار- های دستی هستند. ایجاد تعادل میان عناصر طراحی برای ایجاد حداکثر راحتی و کاربردپذیری مهم ترین هدف تولید کنندگان بوده و تاثیر زیادی بر رضایت کاربر از محصول خواهد داشت. با این حال، تولید کنندگان به ندرت در خصوص کارآمدی یا تناسب ابزار تولید شده با نیازمندی های کاربر اطلاعاتی ارائه داده و تنها به ارگونومیک بودن محصول خود در تبلیغات اشاره می کنند.

برای دستیابی به کارایی و اثربخشی بالا و در نتیجه افزایش رضایت کاربر از محصول، باید توانایی ها و محدودیت های بدنی کاربر در طراحی یک محصول

نیاز به اعمال نیرو و سرعت بالا هستند و باز کردن پیچ‌هایی که با آچار تخت به هر شکل امکان پذیر نیست یا موجب آسیب دیدن سر پیچ و مهره‌ها می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تکنسین‌های تعمیرات و نگهداری و تاسیسات از جمله افرادی هستند که به طور روزمره از ابزار آچاربکس در کارهای خود استفاده می‌کنند. در این مطالعه میزان فعالیت الکتریکی دو عضله مهم درگیر در تکلیف باز کردن پیچ با استفاده از آچار بکس مورد مطالعه قرار گرفت. این مطالعه با هدف بررسی ارتباط آن با برخی پارامترهای فیزیکی شش مدل آچاربکس رایج در بازار مصرف با سطح فعالیت الکتریکی دو عضله مهم ساعد در فرآیند کار با این آچار به انجام رسید.

### روش بررسی

نوع مطالعه و شرکت کنندگان: در مطالعه حاضر که از نوع توصیفی-تحلیلی به روش همبستگی است، تعداد ۵۸ نفر از کارکنان مرد یک مرکز تأسیسات مستقر در یک دانشگاه در محدوده سنی بین ۲۵-۴۵ سال انتخاب شده و پس از کسب رضایت آگاهانه به مطالعه وارد شدند. معیارهای ورود به مطالعه شامل داشتن حداقل یک سال سابقه کار با آچاربکس، غیر ورزشکار بودن افراد، شاخص توده بدنی بین ۳۰-۲۰ و فقدان هر نوع آسیب یا جراحی در اندام‌های فوقانی بود.

ابزارهای مورد بررسی: شش مدل مختلف آچاربکس تهیه و با کدهای A, B, C, D, E و F نامگذاری شدند (شکل ۱)، آچارهای مورد بررسی در این مطالعه از نظر ویژگی‌های شکل ظاهری، اندازه درایو هر آچار و سوئیچ تنظیم جهت باز و بسته کردن بر اساس استاندارد انجمن مهندسان مکانیک آمریکا<sup>۱</sup> ساخته شده بودند، اما از نظر طول، قطر و وزن با یکدیگر متفاوت بودند. ابعاد فیزیکی آچاربکس‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

وظیفه شبیه سازی شده: برای انجام این مطالعه یک وظیفه شبیه سازی شده مشابه با وظایف کاربران آچاربکس در آزمایشگاه طراحی گردید. شرکت‌کنندگان وظیفه شبیه سازی شده را با هر یک از شش مدل آچاربکس انجام دادند. با توجه به ماهیت کار ایستاده در

لحاظ گردد (۹). اهمیت در نظر گرفتن اصول ارگونومی در طراحی ابزار دستی تا حدی است که آن را به عنوان یک عامل اصلی در موفقیت در فروش ابزار دانسته‌اند (۱۲-۱۵). رعایت برخی اصول در طراحی محصول باعث می‌گردد تا کاربر سریع‌تر و راحت‌تر به هدف خود برسد و محصول مربوطه کاربردی‌تر شده و مورد توجه کاربر قرار گیرد (۱۶). با این وجود، سنجش کارایی و کیفیت طراحی ارگونومیک یک ابزار یکی از چالش‌های فراروی سازندگان است. بیشت و خان (۲۰۱۳) انواع روش‌های سنجش طراحی ابزارهای دستی را بررسی کرده و نقاط قوت و ضعف هر کدام را گزارش کرده‌اند (۱۷). علاوه بر این، سنجش تاثیر شاخص‌های فیزیکی ابزار مانند طول و قطر دسته و نیز وزن آن به تنهایی می‌تواند اطلاعاتی در خصوص شاخص بهینه ارایه دهد لیکن تاثیر این شاخص‌ها گاه در تضاد با هم هستند. برخی مطالعات نشان داده‌اند که رتبه بندی کاربرپذیری ابزار آچاربکس بر اساس نمرات آنها با هیچکدام از رتبه‌بندی که بر اساس طول یا قطر دسته و یا وزن ابزار انجام می‌شود، سازگاری ندارد (۱۸). برای مثال با افزایش طول دسته، که میزان نیروی لازم برای ایجاد گشتاور را کاهش می‌دهد، از سوی دیگر سبب افزایش وزن ابزار می‌شود. بنابراین یافتن طراحی بهینه بر اساس معیارهای فیزیکی به تنهایی کارساز نخواهد بود. یکی از روش‌های سودمند برای ارزیابی تاثیر طراحی ابزار بر میزان تلاش فیزیکی، تکنیک الکترومیوگرافی است. الکترومیوگرافی سطحی تکنیکی آسان، ایمن و غیر تهاجمی می‌باشد که با استفاده از آن می‌توان سیگنال‌های الکتریکی سلول‌های ماهیچه‌ای در هنگام استراحت و انقباض، و تعامل آن‌ها با ابزار مورد بررسی ثبت و تحلیل می‌شود (۱۹). سنجش شاخص‌های فیزیولوژیک مانند سنجش فعالیت الکتریکی عضلات می‌تواند شاخص مناسبی از مناسب بودن طراحی باشد. طراحی دسته فاکتور مهمی در استفاده ایمن، راحت و آسان ابزارهای دستی است. ابزار باید برای آنچه طراحی شده است، کار کند و پاسخگوی نیازهای شمار زیادی از کاربران احتمالی باشد (۲۰). آچاربکس یا آچار جغجغه یکی از ابزارهای دستی پرکاربرد است که به‌طور گسترده در بسیاری از مشاغل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوعی آچار تک دسته است که بیشتر در باز و بسته کردن قطعات خودرو، پیچ و مهره‌هایی که

<sup>1</sup> American Society of Mechanical Engineers (ASME)



جدول ۱- مشخصات فیزیکی آچاربکس‌های مورد مطالعه

آچاربکس	طول دسته (میلی‌متر)	قطر دسته (میلی‌متر)	وزن (گرم)
A	۲۲۵/۵۲	۲۵/۷۶	۴۳۹/۷۷
B	۱۵۸/۳۰	۱۸/۱۴	۲۴۰/۲۱
C	۲۳۵/۱۶	۳۷/۸۲	۵۷۰/۵۸
D	۲۲۸/۷۸	۱۸/۳۶	۵۹۲/۰۸
E	۱۸۶/۶۸	۲۹/۲۰	۳۴۸/۹۰
F	۱۸۵/۷۰	۳۳/۵۶	۲۳۵/۲۱



شکل ۱- آچاربکس‌های مورد بررسی در مطالعه

گرفته و فعالیت خود را جهت باز کردن پیچ و مهره‌ها انجام دهند. در این مرحله هر فرد شش بار و هر بار با یکی از آچاربکس‌ها پیچ‌ها را باز می‌کند. ترتیب انتخاب شش مدل آچاربکس برای هر فرد به صورت تصادفی در نظر گرفته شد. مراحل اجرای وظیفه شبیه سازی شده شامل الف) انتخاب بکس مناسب، ب) وصل کردن بکس به دسته بکس، ج) تنظیم سوئیچ باز و بسته کردن، د) باز کردن پیچ و مهره‌ها از صفحه کار بود (شکل ۳).

فواصل زمانی استراحت بین انجام فعالیت با آچاربکس‌های متفاوت در حدود ۵ دقیقه بود و داده‌های مربوط به فعالیت الکتریکی عضلات در هنگام کار با هر کدام از شش مدل آچاربکس ثبت گردید. سپس با در نظر گرفتن اینکه متغیرهای مستقل و وابسته بررسی شده هر دو کمی می‌باشند برای بررسی ارتباط دو متغیر کمی از آزمون رگرسیون خطی استفاده گردید و داده‌ها با نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۱ تجزیه و تحلیل شدند

تکنیک الکترومیوگرافی: برای ارزیابی فعالیت الکتریکی سطحی عضلات ساعد در هنگام کار با آچاربکس از روش الکترومیوگرافی سطحی استفاده گردید. الکترومیوگرافی سطحی جمع عملکرد فیبرهای عضلانی را گزارش می‌کند (۲۱). در این روش یک الکترود تحت عنوان Reference Electrode یا Ground Electrode سیگنال‌های مزاحم را جذب می‌کند. دستگاه الکترومیوگرافی استفاده شده در این مطالعه مدل Data Log Biometrics Ltd ساخت کشور انگلستان که تصویر آن همراه با الکترودهای سطحی و مرجع در شکل ۲ ارایه شده است.

با در نظر گرفتن نوع چنگش و فعالیت دست کاربر در حین کار با آچار بکس، عضلات خم‌کننده ی انگشتان دست و بازکننده‌ی مچ دست در این نوع کار نقش مهم تری نسبت به عضلات دیگر دارند. بنابراین عضلات

فرایند شبیه سازی، صدک نود و پنجم ارتفاع آرنج (معادل فاصله عمودی از سطح زمین تا زائده اعلائی مربوط به زند زبرین) افراد شرکت کننده، به‌عنوان ارتفاع سطح کار در نظر گرفته شد. ارتفاع میز کار با توجه به ارتفاع آرنج معادل ۱۰۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. میز استفاده شده قابلیت تنظیم ارتفاع را داشت. وظیفه شبیه سازی شده به صورت باز کردن پیچ و مهره در نظر گرفته شد که برای این منظور از صفحه‌ای از جنس MDF مجهز به ۱۲ پیچ و مهره با سایز ۱۰ روی میز کار استفاده شد که به کمک دو گیره روی میز به حالت ثابت قرار می‌گرفت. تمامی پیچ و مهره‌ها با استفاده از گشتاورسنج به میزان ۸ N/m روی صفحه محکم شده بودند. سپس از شرکت کنندگان خواسته شد تا در پشت میز کار به حالت ایستاده قرار



د



ج



ب

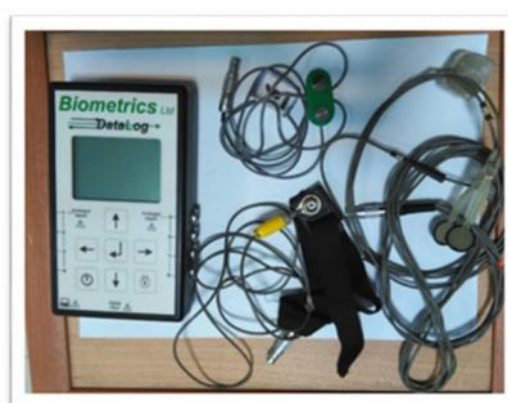


الف

شکل ۲- مراحل اجرای وظیفه شبیه سازی شده



شکل ۶- آماده سازی پوست برای ثبت سیگنال



شکل ۳- دستگاه الکترومیوگرافی مدل Data Log Biometrics Ltd مورد استفاده در این مطالعه



شکل ۷- نحوه اتصال الکتروود در عضلات خم کننده انگشتان و بازکننده مچ دست



شکل ۴- نحوه پیدا کردن عضله خم کننده انگشتان دست

از یک ماژیک علامت گذاری شد (شکل ۴). برای پیدا کردن عضله‌ی باز کننده مچ دست (شکل ۵) از افراد خواسته شد مچ دست خود را بالا و پایین بیاورند با انجام این کار عضله منقبض و قابل رؤیت بود و این ناحیه نیز توسط ماژیک علامت گذاری شد.

مرحله دوم: آماده سازی پوست از شرکت کننده خواسته شد با استفاده از تیغ مناسب ناحیه علامت زده را بتراشد. این ناحیه تراشیده شده برای کاهش تعریق با استفاده از الکل ضدعفونی شد (شکل ۶).

مرحله سوم: چسباندن الکتروودها الکتروودها با استفاده از چسب دو طرفه در نواحی علامت گذاری شده متصل شدند (شکل ۷). همچنین جهت جمع آوری سیگنال‌های مزاحم در دست مخالف فرد الکتروود ارت متصل شد. در شکل ۸ فلوجارت مراحل اجرای مطالعه نمایش داده شده است.

### یافته‌ها

میانگین سن، قد و وزن افراد شرکت کننده در



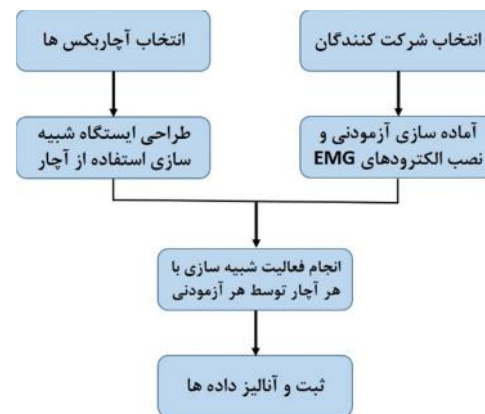
شکل ۵- نحوه پیدا کردن عضله باز کننده مچ دست

Extensor Carpi و Flexor Digitorum Superficialis Radialis برای ثبت فعالیت الکترومیوگرافی عضلات انتخاب شدند. روش انجام الکترومیوگرافی سطحی به ترتیب شامل مراحل زیر می‌باشد. مرحله اول: پیدا کردن عضلات خم کننده انگشتان و باز کننده مچ دست

برای پیدا کردن عضله خم کننده انگشتان در دست افراد مورد مطالعه وسط فاصله اپی کندیل داخلی تا زائده خارجی استخوان رادیوس اندازه‌گیری و با استفاده

الکتریکی عضله خم کننده انگشتان متعلق به آچاربکس B با کمترین طول و کوچکترین قطر بود. کمترین و بیشترین سطح فعالیت الکتریکی عضله باز کننده مچ دست نیز به ترتیب متعلق به آچاربکس E و B بود. به منظور مشخص کردن ارتباط میان دو متغیر کمی پارامترهای فیزیکی و سطح فعالیت الکتریکی عضلات دست از آزمون رگرسیون خطی استفاده گردید. نتایج نشان داد که بین پارامترهای فیزیکی شش مدل آچاربکس با سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان دست ارتباط معناداری از نظر آماری وجود دارد ( $p < 0.001$ ).

برای بررسی ارتباط میان پارامترهای فیزیکی (طول، قطر و وزن) با سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان دست ابتدا از آزمون رگرسیون ساده استفاده گردید. متغیرهایی که مقدار p کمتر از 0.2 داشتند به صورت همزمان وارد مدل رگرسیون چند گانه شدند. نتایج آزمون رگرسیون نشان داد که ارتباط معناداری بین پارامترهای فیزیکی طول و قطر آچاربکسها با فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان دست وجود



شکل ۸- فلوجارت مراحل اجرای مطالعه

مطالعه به ترتیب ۳۵/۹۵ سال، ۱۷۵/۷ سانتی متر و ۷۲/۹۵ کیلوگرم بود. نتایج ارزیابی سیگنالهای الکتریکی ثبت شده با استفاده از دستگاه الکترومیوگرافی در جدول ۲ ارائه شده است. مقایسه شش مدل آچاربکس مورد بررسی نشان داد که کمترین سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان متعلق به آچاربکس C بود که دارای بیشترین طول و بزرگترین قطر بود. بیشترین سطح فعالیت

جدول ۲- میانگین (انحراف معیار) فعالیت الکتریکی عضلات خم کننده انگشتان و باز کننده مچ دست

آچاربکس	میانگین (انحراف معیار) فعالیت الکتریکی عضلات ساعد (میلی ولت بر ثانیه)
A	عضله خم کننده انگشتان ۰/۴۵ (۰/۲۱)
B	عضله باز کننده مچ دست -۰/۴۷ (۰/۲۲)
C	۰/۶۱ (۰/۲۵)
D	۰/۴۳ (۰/۲۳)
E	۰/۵۵ (۰/۲۴)
F	۰/۴۸ (۰/۲۳)
	۰/۴۴ (۰/۲۱)
	۰/۴۳ (۰/۲۲)

جدول ۳- بررسی ارتباط سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان دست با طول و قطر دسته و وزن ابزار

نام متغیر	رگرسیون ساده			رگرسیون چندگانه		
	ضریب	SE	p-value	ضریب	SE	p-value
طول	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳۶
قطر	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۳۳
وزن	۰/۰۰۰	۹/۰۴ <sup>۵</sup> ۱۰	۰/۱۰۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴۱

جدول ۴- بررسی ارتباط سطح فعالیت الکتریکی عضله باز کننده مچ دست با طول و قطر دسته و وزن ابزار

نام متغیر	رگرسیون ساده			رگرسیون چندگانه		
	ضریب	SE	p-value	ضریب	SE	p-value
طول	-۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۹	-	-	-
قطر	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۵۰	-	-	-
وزن	-۱/۶ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	-۸/۵۲ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۰/۸۵	-	-	-



دارد ( $p < 0/001$ ). ضریب همبستگی میان سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان با طول و قطر آچاربکس نیز منفی بدست آمد. نتایج نشان داد که به ازای یک میلی متر افزایش در طول و قطر آچاربکس سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان دست به ترتیب  $0/001$  و  $0/007$  میلی ولت بر ثانیه کاهش می یابد. اما بین وزن آچاربکس ها با سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان دست ارتباط معناداری از نظر آماری مشاهده نشد. نتایج این ارتباط در جدول ۳ ارائه شده است.

برای بررسی ارتباط میان پارامترهای فیزیکی (طول، قطر و وزن) با سطح فعالیت الکتریکی عضله باز کننده مچ دست نیز ابتدا از آزمون رگرسیون ساده استفاده شد و متغیرهایی که مقدار  $p$  کمتر از  $0/2$  داشتند به صورت همزمان وارد مدل رگرسیون چند گانه شدند. نتایج آزمون رگرسیون نشان داد که ارتباط معناداری بین پارامترهای فیزیکی طول، قطر و وزن آچاربکس ها با فعالیت الکتریکی عضله باز کننده مچ دست وجود ندارد ( $p > 0/001$ ). نتایج این آزمون در جدول ۴ ارائه شده است.

### بحث

در مطالعه حاضر پارامترهای فیزیکی طول، قطر و وزن شش مدل آچاربکس را با سطح فعالیت الکتریکی عضلات دست مورد بررسی قرار داده است. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش یا کاهش طول، قطر و وزن آچاربکس با تغییر سطح فعالیت الکتریکی عضلات دست ارتباط دارد. بین پارامترهای فیزیکی طول و قطر آچاربکس با سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان دست ارتباط معناداری از نظر آماری وجود داشت. با توجه به اینکه تمام پیچ و مهره ها با گشتاور یکسانی محکم شده بودند و گشتاور نیز حاصل ضرب نیرو در فاصله (طول دسته آچاربکس) است، بنابراین هرچه طول دسته بیشتر شود، برای ایجاد گشتاور یکسان، نیاز به اعمال نیروی کمتری از سوی عضله است. یافته های تحقیق حاضر هم در همین راستا نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار نیروی اعمال شده به هنگام کار با آچاربکس ها به ترتیب متعلق به آچاربکس C (دارای بیشترین طول) و آچاربکس B (دارای کمترین طول) بود. نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از مطالعه لی (۲۰۰۲) که با عنوان ارزیابی انبردست از نظر طراحی

ارگونومیکی در تعدادی از افراد انجام شد مطابقت دارد. آن ها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که خصوصیات دسته ابزار اثر معناداری از نظر آماری بر فعالیت الکتریکی عضله خم کننده سطحی و عمقی انگشتان دست دارد (۲۲). نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از پژوهش دانگ و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. آن ها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که طراحی دسته قلم جرمگیری اثر معناداری از نظر آماری بر بار عضله و نیروی نیشگون در حین وظیفه شبیه سازی شده جرمگیری دارد. نتایج مطالعه آن ها نشان داد که برای وظایف جرمگیری دندان، ابزار با قطر بیشتر و وزن سبک تر کمترین میزان فعالیت عضلات و نیروی نیشگون را نیاز دارد (۲۳). نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از مطالعه اوزاوا و همکاران (۲۰۰۰) که با هدف بررسی تأثیر قطر دسته ابزار بر فعالیت الکتریکی عضلات ساعد و کف دست انجام شد نیز مطابقت دارد. آن ها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که قطر دسته ابزار اثر معناداری از نظر آماری بر فعالیت الکتریکی عضلات ساعد دارد (۲۴).

تغییر در قطر آچاربکس در کارایی عضله خم کننده انگشتان دست برای ایجاد چنگش مناسب تأثیرگذار است. در قطرهای کوچک مفاصل انگشتان دست برای گرفتن دسته آچاربکس باید به میزان بیشتری خم شوند. در این حالت عضله خم کننده انگشتان در وضعیت کوتاه شده خود قرار می گیرد و این کار باعث بی کفایتی فعال عضله می گردد. در حالت بی کفایتی فعال عضلانی برای ایجاد گشتاور کافی شدت انقباض بیشتری از عضله مورد نیاز می باشد (۲۵). هنگام استفاده افراد از آچاربکس مدل B که کمترین قطر را داشته است، طول عضله خم کننده انگشتان در وضعیت کوتاه شدگی قرار گرفته است. در این حالت عضله دچار بی کفایتی فعال شده و برای جبران این بی کفایتی مجبور است نیرویی بیشتر از حد نرمال تولید کند. به همین دلیل بیشترین و کمترین میزان نیروی تولید شده عضله خم کننده انگشتان دست به ترتیب با آچاربکس B (کمترین قطر) و آچاربکس C (بیشترین قطر) بود.

مطالعه حاضر نشان داد که بین وزن آچاربکس ها با سطح فعالیت الکتریکی عضله خم کننده انگشتان ارتباط معنی داری از نظر آماری مشاهده نشد. نیروی عضله خم کننده انگشتان دست تحمل کننده وزن آچاربکس

عضلات می‌شود را برای کاربران انتخاب کرد. از نقاط قوت این مطالعه انجام مطالعه با حجم نمونه بالاتر نسبت به دیگر مطالعات بود. تعمیم یافته‌های حاصل از این مطالعه باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های آن باشد. در این مطالعه نتایج عملکرد ماهیچه‌های ساعد برای یک تکلیف شبیه سازی شده و برای کوتاه مدت بود. بنابراین سطح خستگی عضلانی روی داده در شرکت کنندگان با شرایط واقعی متفاوت خواهد بود. بنابراین برای استفاده از یافته‌های این مطالعه برای کاربردهای بلند مدت باید با احتیاط همراه باشد. پیشنهاد می‌شود برای ارزیابی تصویربرداری بهتر از شرایط عملکرد عضلات ساعد در هنگام کار با ابزارهای دستی تکالیف بلندمدت‌تری در مطالعات طراحی شده و تاثیر خستگی ناشی از کار با ابزار نیز در نظر گرفته شود. همچنین تاثیر زبری و نرمی دسته ابزار بر قدرت چنگش و فعالیت الکتریکی عضلات در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفت و پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به تاثیر این موضوع در کنار سایر فاکتورهای فیزیکی پرداخته شود.

## References

1. ILO. Global Trends on Occupational Accidents and Diseases. 2015. p. 1-7.
2. Work related musculoskeletal disorder statistics (WRMSDs) in Great Britain, 2019. UK: Health and Safety Executive; 2019.
3. Jain R, Sain MK, Meena ML, Dangayach GS, Bhardwaj AK. Non-powered hand tool improvement research for prevention of work-related problems: a review. *Int J Occup Saf Ergonom.* 2018;24(3):347-57.
4. Aghazadeh F, Mital A. Injuries due to handtools. Results of a questionnaire. *Appl Ergon.* 1987;18(4):273-8.
5. Cacha CA. Ergonomics and Safety in Hand Tool Design: CRC Press; 1999.
6. Wibowo RKK, Soni P. Farmers' Injuries, Discomfort and Its Use in Design of Agricultural Hand Tools: A Case Study from East Java, Indonesia. *Agriculture and Agricultural Science Procedia.* 2016;9:323-7.
7. S. A, I. D, M. N. Ergonomic Design and Evaluation of Fabric Cutting Scissors with Regard to Pinch Force and Wrist Posture. *Iran J Ergon.* 2017;5(2):61-6.
8. Barr AE, Barbe MF, Clark BD. Work-related musculoskeletal disorders of the hand and wrist: epidemiology, pathophysiology, and sensorimotor changes. *J Orthopaed Sports Physic Ther.* 2004;34(10):610-27.
9. Sharifi Z, Osqueizadeh R, Ghomshe T, Farhad S. Ergonomic Redesign of Industrial Chair. *J Ergonom.* 2015;3(1):1-9.
10. Sohrabi MS. The effect of non-powered hand tools' diameter on comfort and maximum hand torque. *J Ergonom.* 2015;3(2):68-75.

نبوده و وزن آچاربکس بیشتر توسط عضلات شانه و آرنج تحمل می‌شود و عضله خم‌کننده انگشتان عمدتاً وظیفه گرفتن آچار را به عهده داشته است. عضلات باز کننده میچ دست تا حدودی در تحمل وزن آچار می‌توانند نقش داشته باشند و نتایج تحقیق حاضر هم تأیید کننده این موضوع بود.

بین شش مدل آچاربکس مورد بررسی از نظر سطح فعالیت الکتریکی عضله بازکننده میچ دست تفاوت معناداری از نظر آماری مشاهده نشد. کمترین و بیشترین سطح فعالیت الکتریکی عضله باز کننده میچ دست به ترتیب متعلق به آچاربکس F و B بود. آچاربکس B بیشترین سطح فعالیت الکتریکی عضله خم‌کننده انگشتان و باز کننده میچ دست را به خود اختصاص داد. دلیل این امر کوتاه بودن طول دسته برای باز کردن پیچ و مهره‌ها و کم بودن قطر آن بود که باعث می‌شد فشار وارد بر دست در حین اعمال نیرو در ناحیه کوچکی از دست و انگشتان توزیع گردد که آن را برای انجام کار از سوی کاربران نامطلوب کرده بود. همه این عوامل منجر به افزایش نیروی دو عضله یاد شده برای آچاربکس B از سوی کاربران گشته است.

در وظایف چنگش قدرتی (مانند کار با انواع آچارها) طول و قطر دسته ابزار از پارامترهای مهم محسوب می‌شود، بنابراین آچاربکس‌های با طول دسته بلندتر و قطر بیشتر که مطابق با اصول ارگونومیک طراحی شده‌اند، کمترین سطح فعالیت الکتریکی عضلات خم‌کننده انگشتان دست را برای باز کردن پیچ و مهره‌ها به خود اختصاص داده است که این امر منجر به کاهش خستگی عضلات در حین کار می‌شود. بنابراین نیروی مورد نیاز جهت باز کردن پیچ و مهره‌ها را می‌توان با انتخاب آچاربکس با طول دسته بلندتر و قطر بیشتر کاهش داد.

## نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از این مطالعه می‌تواند توسط سازندگان ابزار دستی در بهبود طراحی ابزار مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با استفاده از روش الکترومیوگرافی به خوبی می‌توان از بین مدل‌های مختلف از یک نوع ابزار دستی، بهترین و مناسب‌ترین مدل را که منجر به کاهش سطح فعالیت الکتریکی عضلات دست و در نتیجه منجر به کاهش خستگی

11. Kuijt-Evers L, Groenesteijn L, De Looze M, Vink P. Identifying factors of comfort in using hand tools. *Appl Ergonom.* 2004;35(5):453-8.
12. Arunesh C, Pankaj C. Ergonomic design of hand tool (screwdriver) for Indian worker using comfort predictors a case study. *Int J Adv Engin Technol.* 2011;2(4):231-8.
13. Kuijt-Evers LF, Groenesteijn L, de Looze MP, Vink P. Identifying factors of comfort in using hand tools. *Appl Ergonom.* 2004;35(5):453-8.
14. Kuijt-Evers L, Vink P, de Looze MP. Comfort predictors for different kinds of hand tools: Differences and similarities. *Int J Indust Ergonom.* 2007;37(1):73-84.
15. Mououdi M, Taher M. Comfort evaluation of three types of screwdrivers in the Iranian market. *Iran Occup Health.* 2012;9(1).
16. Design WH. A Check-List for Handle Design.
17. Bisht D, Khan MR. Ergonomic Assessment Methods for the Evaluation of Hand Held Industrial Products: A Review. *Lecture Notes Engin Comput Sci.* 2013;1:559-64.
18. Ahmadlu M, Pouyakian M, Ranjbarian M, Khodakarim S. Relationship Between Usability Scale Score and Dimensional Properties and Weight of Socket Wrench in a Simulated Task. *J Ergonom.* 2019;7(2):30-8.
19. Koleini Mamaghani N, Bakhtiary A, Sevan E, Sadeghi Naeini H. Ergonomics evaluation of new home stripper using electromyography. *Iran Occup Health.* 2012:59-67.
20. Sadeghi Naeini H, Kohan A. Designing the manual tools of the tetraplegia handicapped C5-C7 by UCD method. *Iran Occup Health.* 2015;12(3):27-37.
21. Grant KA, Habes DJ, Putz-Anderson V. Psychophysical and EMG correlates of force exertion in manual work. *Int J Indust Ergonom.* 1994;13(1):31-9.
22. Li KW. Ergonomic design and evaluation of wire-tying hand tools. *Int J Indust Ergonom.* 2002;30(3):149-61.
23. Dong H, Barr A, Loomer P, LaRoche C, Young E, Rempel D. The effects of periodontal instrument handle design on hand muscle load and pinch force. *J Am Dent Assoc.* 2006;7(78):1123-30.
24. Ozawa T, Nakano M, Sugimura H, Kurayama H, Tahata K, Nakamura J, et al. Effects of endodontic instrument handle diameter on electromyographic activity of forearm and hand muscles. *Int Endodon J.* 2001;34(2):100-6.
25. DiCarlo SE, Sipe E, Layshock JP, Varyani S. Experiment demonstrating skeletal muscle biomechanics. *Adv Physiol Educ.* 1998;275(6):S59.