Iranian Journal of Ergonomics | ISSN: 2345-5365

Original Research

The Efficiency and Usability Human-Computer Interface in Cervical Spinal Cord Injury by Game-based Electromyography Biofeedback and Electromyography Biofeedback

Mehdi Omidi[1], Amin Asgharzadeh[2], Seifollah Gharib[3], Mohsen Vahedi[4], Amir Salar Jafarpisheh[5*]

1. MSc, Department of Ergonomics, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran
2. PhD Student, Department of Biomedical Engineering, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran
4. Assistant Professor, Department of Biostatistics, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran
5. Assistant Professor, Department of Ergonomics, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran

Article Info

Received: 2020/05/13;
Accepted: 2020/11/21;
ePublished: 2020/11/28

10.30699/jergon.8.4.50

Use your device to scan and read the article online

Corresponding Author
Amir Salar Jafarpisheh
Assistant Professor, Department of Ergonomics, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran

Email:
jafarpisheh@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objectives: The proliferation of computers, along with the development of software and the Internet, has revolutionized the work and life of people with disabilities, including those with spinal cord injuries with limited mobility in the arms. The efficiency and usability of the aids provided to these people is very important; because they have more limitations than ordinary people. The purpose of this study was to compare the efficiency and usability of human-computer interface in cervical spinal cord injury with two biofeedback EMG methods based on computer games and without computer games.

Methods: The sample size was 20 participants (healthy and with spinal cervical lesions) who were selected regarding availability**.** The statistical population of the study (that was conducted 2019-2020) was spinal cord injury patients referred to spinal cord injury clinic in Tehran. Participants received three 30-minute sessions per week for 1 month of EMG biofeedback training and game-based biofeedback interventions. SPSS version 23 was used for data analysis.

Results: Results showed that participants considered using EMG biofeedback and game biofeedback as 75/8% and 72/0% usability. Over time, the "through put" numerical values of the variable decreased in healthy individuals and spinal cord injury. Also, the numerical values of this variable were lower in healthy individuals than in individuals with spinal cord injuries. The maximum reduction in numerical values of the "through put" variable appeared between the first and sixth sessions.

Conclusion: The EMG and gaming biofeedback system can be used for interaction and control such as computers, wheelchairs, and more.

Keywords: Human-computer interaction, EMG game-based biofeedback, Mouse control, Cervical spinal cord injury

Copyright © 2021, This is an original open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute of the material just in noncommercial usages with proper citation.

How to Cite This Article:

Omidi M, Asgharzadeh A, Gharib S, Vahedi M, Jafarpisheh A. The Efficiency and Usability Human-Computer Interface in Cervical Spinal Cord Injury by Game-based Electromyography Biofeedback and Electromyography Biofeedback. Iran J Ergon. 2020; 8 (4) :50-68

Extended Abstract

Introduction

The proliferation of computers, along with the development of software and the Internet, has revolutionized the work and life of people with disabilities, including those with spinal cord injuries with limited mobility in the arms. The efficiency and usability of the aids provided to these people is very important; because they have more limitations than ordinary people. The purpose of this study was to compare the efficiency and usability of human-computer interface in cervical spinal cord injury with two biofeedback EMG methods based on computer games and without computer games.

Methods

The sample size was 20 participants (healthy and with spinal cervical lesions) who were selected regarding availability. The statistical population of the study (that was conducted 2019-2020) was spinal cord injury patients referred to spinal cord injury clinic in Tehran. Participants received three 30-minute sessions per week for 1 month of EMG biofeedback training and game-based biofeedback interventions. SPSS software version 23 (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA) was used to analyze the data. Statistical indicators such as mean, standard deviation and statistical tests of mean comparison, Shapiro-Wilk, Tukey and repeated measures were used to describe the data.

Table 1. Participating groups of EMG biofeedback and game species biofeedback

Group 1	**Patient with EMG biofeedback**
Group 2	Patient with playful biofeedback
Group 3	Healthy with EMG biofeedback
Group 4	Healthy with playful biofeedback

Figure 1. Location of electrodes on participants' biceps

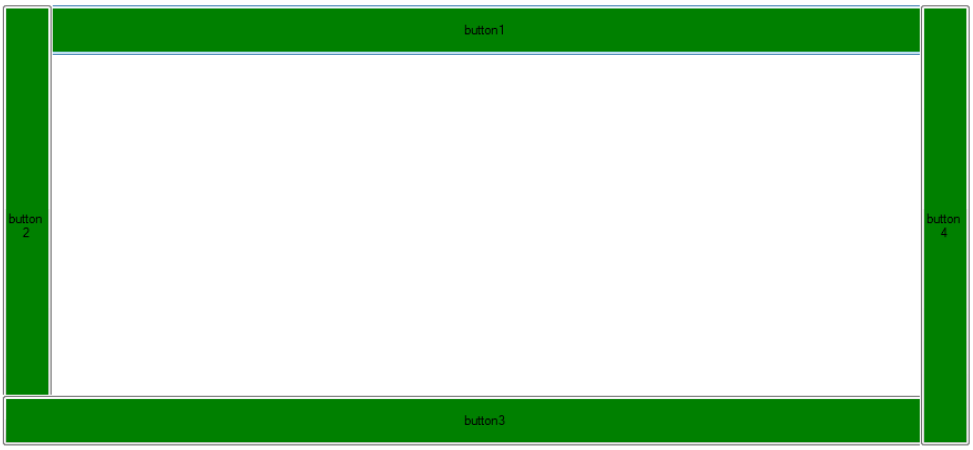


Figure 2. EMG biofeedback image (participants had to move the computer cursor in this green border).

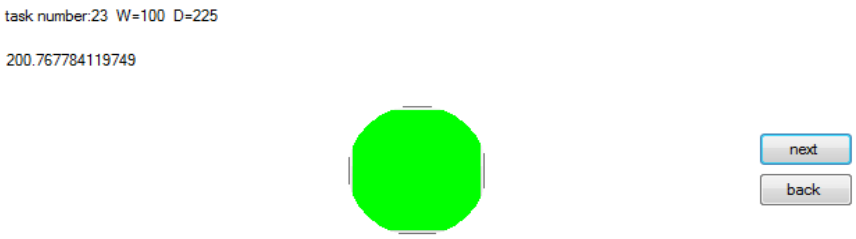


Figure 3. Test screen (participants had to move the computer cursor to the green circles and click).

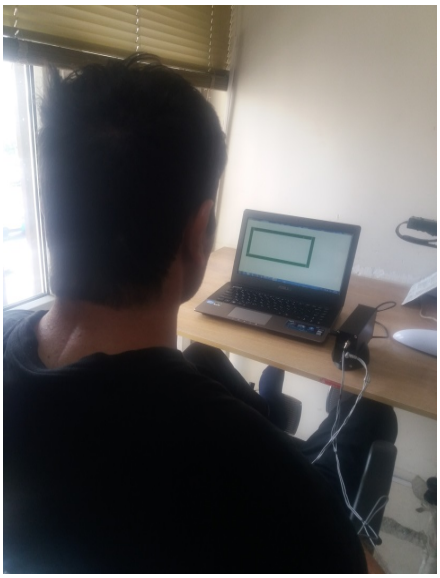


Figure 4. Working with EMG biofeedback

Results

Results showed that participants considered using EMG biofeedback and game biofeedback as 75/8% and 72/0% usability. Over time, the "through put" numerical values of the variable decreased in healthy individuals and spinal cord injury. Also, the numerical values of this variable were lower in healthy individuals than in individuals with spinal cord injuries. The maximum reduction in numerical values of the "through put" variable appeared between the first and sixth sessions.

Table 2. Significant comparison between 4 groups participating in the SUS questionnaire

		Mean difference	P-value
Patient with EMG biofeedback	Patient with playful biofeedback	*11.000-	**0.028**
	Healthy with EMG biofeedback	1.000-	0.991
	Healthy with playful biofeedback	7.200-	0.207
Patient with playful biofeedback	Patient with EMG biofeedback	*11.000	**0.028**
	Healthy with EMG biofeedback	*10.000	**0.049**
	Healthy with playful biofeedback	3.800	0.701
Healthy with EMG biofeedback	Patient with EMG biofeedback	1.000	0.991
	Patient with playful biofeedback	*10.000-	**0.049**
	Healthy with playful biofeedback	6.200-	0.319
Healthy with playful biofeedback	Patient with EMG biofeedback	7.200	0.207
	Patient with playful biofeedback	3.800-	0.701
	Healthy with EMG biofeedback	6.200	0.319

Table 3. Analysis of variance with repeated measurements of the first session, the sixth session and the twelfth session of the TP variable in 4 groups of participants

Source of changes		Total squares	Degree of freedom	Average squares	F	Probability value	Eta squared	Power of a test
Inside the subjects								
	Time	641832.433	1.353	474293.570	32.158	0.000	0.668	1.000
	Time and group	212041.967	4.060	52230.736	3.541	0.022	0.399	0.783
	Error	319335.600	21.652	14748.673				
Between subjects								
	Group	2875586.583	3	958528.861	6.897	0.003	0.564	0.935
	Error	2223557.600	16	138972.350				

Table 4. Test of Shapiro-Wilk test Normality of Throughput variable

	Group	Test	Participants of each group	Probability value
Through put (before)	1	0.854	5	0.208
	2	0.940	5	0.664
	3	0.987	5	0.968
	4	0.878	5	0.299
Through put (while)	1	0.803	5	0.086
	2	0.917	5	0.514
	3	0.962	5	0.825
	4	0.876	5	0.292
Through put (after)	1	0.654	5	0.003
	2	0.812	5	0.102
	3	0.917	5	0.510
	4	0.918	5	0.518

Table 5. In-group comparison of throughput variables

	Group	Mean difference	P-value
Patient with EMG biofeedback	Patient with playful biofeedback	339.07	0.100
	Healthy with EMG biofeedback	*507.93	**0.009**
	Healthy with playful biofeedback	*560.13	**0.004**
Patient with playful biofeedback	Patient with EMG biofeedback	339.07-	0.100
	Healthy with EMG biofeedback	168.87	0.611
	Healthy with playful biofeedback	221.07	0.394
Healthy with EMG biofeedback	Patient with EMG biofeedback	*507.93_	**0.009**
	Patient with playful biofeedback	168.87-	0.611
	Healthy with playful biofeedback	52.20	0.980
Healthy with playful biofeedback	Patient with EMG biofeedback	*560.13_	**0.004**
	Patient with playful biofeedback	221.07-	0.394
	Healthy with EMG biofeedback	52.20-	0.980

Table 6. Mean and standard deviation of the Through put variable in 4 groups of participants

Variable	Group	M (bits/s)	SD (bits/s)
First session	Patient with EMG biofeedback	1061.80	401.503
	Patient with playful biofeedback	653.80	283.908
	Healthy with EMG biofeedback	371.00	88.724
	Healthy with playful biofeedback	301.60	107.962
Total	4 groups	597.05	386.166
Sixth session	Patient with EMG biofeedback	705.80	440.859
	Patient with playful biofeedback	383.20	95.290
	Healthy with EMG biofeedback	255.00	46.797
	Healthy with playful biofeedback	246.00	44.755
Total	4 groups	397.50	283.129
Twelfth session	Patient with EMG biofeedback	644.40	395.122
	Patient with playful biofeedback	357.80	64.550
	Healthy with EMG biofeedback	262.20	56.082
	Healthy with playful biofeedback	184.00	57.654
Total	4 groups	?362.10	258.954

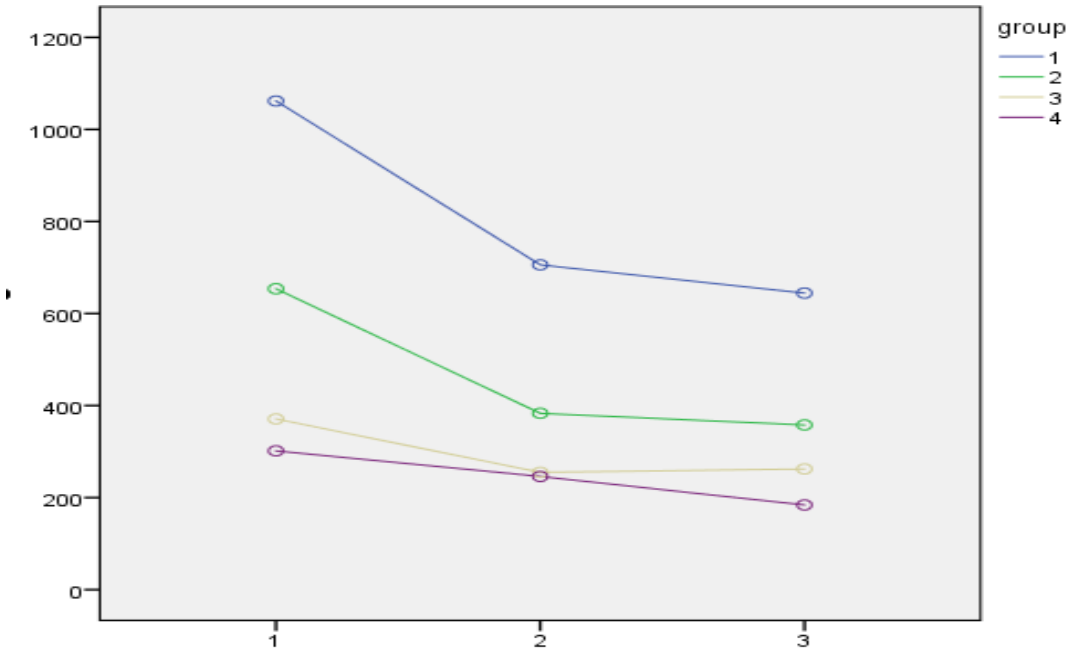


Figure 5. Comparison of the mean of the Through put variable in the first, sixth and twelfth sessions of 4 participating groups

Discussion

The maximum slope of change between the first and sixth sessions was created in healthy participants with SCI. This indicates the greatest motor training and learning to use EMG biofeedback with and without games to control the computer marker in the first six sessions of the study. Considering the numerical mean of the variable Through put, it can be said that the amount of changes between the sixth to twelfth sessions was significantly less compared with the sessions between the first and sixth. It can be said that due to poor motor control of patients with spinal cord injuries, the rate of displacement of computer markers was higher than healthy participants; therefore, it can be said that patients with spinal cord injury have gained maximum control and function using playful EMG biofeedback. It is recommended to use playful EMG biofeedback to improve accuracy and muscle control in patients with spinal cord injury. The results of this study are in line with the results of the study of Williams *et al.* and Lu *et al*.

Conclusion

The EMG and gaming biofeedback system can be used for interaction and control such as computers, wheelchairs, and more.

Acknowledgement

The authors of this article would like to thank all the participants. Also, all the ethical codes provided by the University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences in accordance with the code IR.USWR.REC.1397.044 were observed in this research.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

مقالهٔ پژوهشی

کارایی و کاربردپذیری واسط انسان‌رایانه در افراد دارای ضایعهٔ نخاعی گردنی در دو روش بیوفیدبک EMG مبتنی بر بازی رایانه‌ای و بدون بازی رایانه‌ای

مهدی امیدی[۱]، امین اصغرزاده[۲]، سیف اله غریب[۳]، محسن واحدی[۴]،امیرسالار جعفرپیشه*[۵]

۱. کارشناسی ارشد ارگونومی، گروه ارگونومی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری مهندسی پزشکی، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
۴. استادیار، گروه آمار زیستی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران
۵. استادیار، گروه ارگونومی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۱
انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸

نویسندهٔ مسئول:
امیرسالار جعفرپیشه
استادیار، گروه ارگونومی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران
پست الکترونیک:
jafarpisheh@gmail.com

برای دانلود این مقاله، کد زیر را با موبایل خود اسکن کنید.

خلاصه

زمینه و هدف: گسترش رایانه‌ها همراه با توسعهٔ نرم‌افزارها و اینترنت، انقلاب بزرگی در کار و زندگی افراد ناتوان ازجمله افراد دارای ضایعات نخاعی با محدودیت حرکات در دست‌ها ایجاد کرده است. کارایی و کاربردپذیری ابزار کمکی که برای این افراد ارائه شود اهمیت فراوانی دارد؛ زیرا آن‌ها محدودیت‌های بیشتری از افراد عادی دارند. هدف این مطالعه ارزیابی کارایی و کاربردپذیری واسط انسان‌رایانه در افراد دارای ضایعهٔ نخاعی گردنی و افراد سالم در دو روش بیوفیدبک EMG مبتنی بر بازی رایانه‌ای و بدون بازی رایانه‌ای بود.

روش‌کار: جامعهٔ آماری این پژوهش که در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد، ۲۰ بیمار دارای ضایعات نخاعی گردنی مراجعه‌کننده به کلینیک ضایعات نخاعی تهران و دانشجویان دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی بودند. این شرکت‌کنندگان به روش غیراحتمالی دردسترس انتخاب شدند و به‌کمک بیوفیدبک EMG بازی‌گونه و بدون بازی، نشانگر رایانه را برای حرکات بالا، پایین، چپ، راست و کلیک‌کردن روی صفحهٔ نمایشگر کنترل می‌کردند. در این مطالعه، از متغیر Through put (bits/s) به‌منظور بررسی کارایی و پرسشنامهٔ **SUS** برای بررسی کاربردپذیری شرکت‌کنندگان سالم و دارای ضایعهٔ نخاعی استفاده شد.

یافته‌ها: شرکت‌کنندگان دارای ضایعات نخاعی گردنی و افراد سالم، استفاده از بیوفیدبک بازی‌گونه را به‌ترتیب ۷۵/۸۰درصد و ۷۲درصد کاربردپذیر می‌دانستند. باگذشت زمان مقادیر عددی متغیر Through put در افراد سالم و دارای ضایعهٔ نخاعی کاهش یافت. همچنین مقادیر عددی این متغیر در افراد سالم کمتر از افراد دارای ضایعات نخاعی بود. حداکثر کاهش مقادیر عددی متغیر Through put بین جلسات اول و ششم نمایان شد.

نتیجه گیری: شرکت‌کنندگان استفاده‌کننده از سیستم تعاملی کنترل ورودی رایانه، در سرعت واکنش و میزان جابه‌جایی نشانگر رایانه در صفحه‌نمایش کارایی کسب کرده‌اند. نتیجه اینکه می‌توان از سیستم بیوفیدبک EMG بازی‌گونه برای تعامل و کنترل وسایلی مانند رایانه و ویلچر در افرادی که در حرکات ظریف دست‌ها ناتوانی دارند، استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: تعامل انسان‌رایانه، بیوفیدبک EMG بازی‌گونه، کنترل موس، ضایعات نخاعی گردنی

مقدمه

از مهم‌ترین عوامل ایجادکنندهٔ اختلال و ناتوانی حرکتی می‌توان به SCI[1] یا ضایعات نخاعی اشاره کرد. از علل عمده‌ای که به SCI منجر می‌شوند، تصادفات وسایل نقلیه و افتادن‌هاست [۱]. شیوع و بروز SCI به‌دلیل ارتباط با آمارهای منطقه‌ای و برخی

[1] Spinal cord injury

فاکتورهای اجتماعی‌اقتصادی بسیار متغیر است. آمارها نشان می‌دهد، شیوع آسیب نخاعی و عصبی در کشورهای پیشرفته سالانه حدود ۱۵ تا ۴۰ مورد در هر ۱میلیون نفر است. حدود ۲۵۰ هزار نفر در ایالات‌متحده، SCI دارند که سالانه ۱۱هزار نفر بر این تعداد افزوده می‌شود. این آمار در ایران حدود ۴۰ تا ۵۰ نفر در ۱میلیون نفر است و سالانه بیش از ۳هزار نفر دچار SCI می‌شوند که بیشتر آن‌ها مردان هستند (حدود ۸۲درصد). حدود ۱۸درصد این جمعیت شامل افراد دارای SCI گردنی هستند که مشکلات جدی از ناحیهٔ شانه به پایین دارند. ۵۰درصد بیماران SCI فلج کامل هستند و در یک‌سوم آن‌ها فلج چهار اندام گزارش شده است. آسیب نخاعی گردنی با توجه به سطح آسیب، سبب ناتوانی در عملکرد بازو و دست‌ها می‌شود. دست آسیب‌دیده به‌شکلی ویژه سبب کاهش استقلال و کارایی در فعالیت‌های روزمرهٔ زندگی[1] می‌شود و به محدودیت در فعالیت‌های اجتماعی‌اقتصادی ازجمله شرایط کاری و کار با رایانه‌ها می‌انجامد [۲].

بیماران دارای SCI گردنی در کارکردن با رایانه‌های شخصی و اداری مشکل دارند که دلیل این امر، محدودیت‌های اندام فوقانی برای استفاده از صفحه‌کلید و موس است. این افراد معمولاً در انجام حرکات ظریف دستی مانند کلیک‌کردن و نگه‌داشتن موس توپی به‌دلیل فلج انگشتان ناتوان هستند [۳]. همچنین امروزه شاهد افزایش افرادی هستیم که در بیشتر زمان کاری‌شان از رایانه‌ها استفاده می‌کنند. گسترش رایانه‌ها به‌همراه توسعهٔ نرم‌افزارها و اینترنت انقلاب بزرگی در کار و زندگی افراد ناتوان ازجمله افراد دارای SCI با محدودیت حرکتی ایجاد کرده است [۵، ۴]. SCI گردنی سبب ازدست‌رفتن میزان قابل‌توجهی از عملکرد افراد می‌شود که این ناتوانی‌ها، بر خانواده، واحدهای درمانی و جامعه تأثیرگذار است. از سال ۲۰۰۳ به بعد حدود ۵۵/۵درصد مشاغل از رایانه استفاده می‌کنند. دراین‌میان، تنها ۲۴/۲درصد افراد دارای SCI گردنی، بعد از ناتوانی‌هایشان می‌توانند از رایانه برای کار و دسترسی به اینترنت استفاده کنند [۶].

HCI[2] تعامل میان انسان و رایانه است که اجازهٔ کنترل انسان بر محیط بیرونی و وسایل الکتریکی را فراهم می‌کند. حوزهٔ HCI در ارگونومی و مهندسی عوامل انسانی بسیار موردتوجه است [۸، ۷]. بیوفیدبک فرایندی است که طی آن اطلاعات سیگنال‌های زیستی بدن اندازه‌گیری می‌شود و به فرد بازخورد می‌دهد تا آگاهی و کنترل بر فرایندهای فیزیولوژیکی خود را کسب کند [۹].

بیوفیدبک EMG[3] می‌تواند با استفاده از رژیم تمرینی مبتنی بر بازی[4] برای دستیابی به اهداف درمانی مؤثرتر واقع شود. ترکیب بیوفیدبک EMG با بازی‌های رایانه‌ای، سبب ارتقای تأثیر تمرینات درمانی منظم، انگیزشی و سرگرم‌کننده می‌شود. EMG یک بیوسیگنال مناسب در حوزهٔ HCI است. از این بیوسیگنال می‌توان برای کنترل ورودی نشانگر رایانه‌ها برای کنترل حرکات نشانگر در صفحهٔ نمایشگر بهره برد [۹-۱۱]. استفاده از بازی‌ها سبب نتایجی ملموس، ازجمله انگیزش، تکرار و تمرین بیشتر، یادگیری بهتر و ایمنی در مقایسه با تمرین در محیط واقعی می‌شود. Muguro و همکاران با استفاده از EMG عضلات گردن افراد فلج چهار اندام، کنترل بازی‌های رایانه‌ای در این افراد بهبود بخشیدند. انتظار می‌رود این مهارت و یادگیری‌های حاصل از بازی‌ها که با اهداف خاصی طراحی می‌شوند به زندگی واقعی فرد تعمیم داده شوند. ارزیابی کارایی سیستم‌های بیوفیدبک مبتنی بر بازی نیاز به پژوهش بیشتر در این زمینه دارد [۱۳، ۱۲].

با توجه به مطالعات، از اساسی‌ترین دغدغه‌های افراد دارای SCI گردنی با ناتوانی در عملکرد اندام فوقانی، مشکلات بازگشت به کار و استفادهٔ مجدد از رایانه‌هاست. برای متخصصان حیطهٔ سلامت ازجمله ارگونومیست‌ها ضروری است برای ارزیابی، راه‌اندازی و تعامل با رایانه‌ها، وسیلهٔ مناسبی به‌عنوان ورودی رایانه‌ای برای بیماران دارای SCI گردنی پیشنهاد دهند. همچنین در کنترل مواردی مانند رایانه‌ها با استفاده از بیوفیدبک EMG باید ازنظر سرعت و دقت، پتانسیلی مشابه حرکات طبیعی ایجاد کنند [۱۴، ۵، ۳]. با توجه به نقش مهم رایانه‌ها در مشاغل امروزی، پتانسیل پژوهشی مناسب برای ارزیابی، تعامل و تطابق رایانه‌ها در افرادی با ناتوانی‌های دست، به‌ویژه افراد دارای SCI گردنی شکل گرفته است. در این پژوهش، تأثیر به‌کارگیری بیوفیدبک EMG مبتنی بر بازی در افراد دارای ضایعات نخاعی گردنی، به‌منظور کنترل حرکات موس رایانه بررسی و کارایی[5] و کاربردپذیری[6] آن ارزیابی شد.

روش‌کار

[1] Activity daily living
[2] Human computer interface
[3] Electromyogram
[4] Game-based
[5] Efficiency
[6] Usability

۱. شرکت‌کنندگان

جامعهٔ آماری موردبررسی بیماران دارای ضایعات نخاعی گردنی مراجعه‌کننده به کلینیک ضایعات نخاعی تهران و دانشجویان دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی بودند. حجم نمونه ۲۰ شرکت‌کننده (۱۰ فرد دارای ضایعات نخاعی گردنی و ۱۰ فرد سالم) بود که به‌صورت دردسترس در ۴ گروه ۵ نفری قرار داده شدند. روش نمونه‌گیری در این پژوهش به‌صورت غیراحتمالی دردسترس بود. معیارهای ورود شرکت‌کنندگان شامل امضای فرم رضایت‌نامه برای شرکت در مطالعه، کسب نمرهٔ بیشتر از ۲۲ در آزمون کوتاه وضعیت ذهنی (MMSE [1])، گذشت حداقل شش‌ماه از زمان آسیب نخاعی، اسپاستیسیته کمتر از ۳ در اندام فوقانی (مقیاس اشورث)[2] و دامنهٔ سنی شرکت ۴۰-۲۰ سال (۵±۲۷) بود. معیارهای خروج شرکت‌کنندگان نیز اختلال در روند کار و بی‌نظمی در طول جلسات و تمایل‌نداشتن به ادامهٔ همکاری بود. همهٔ کدهای اخلاقی ارائه‌شده توسط دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی در این تحقیق رعایت شد.

۲. طراحی ابزار و پردازش سیگنال

ابزار بیوفیدبک EMG

بیوفیدبک EMG ابزاری برای ثبت فعالیت الکتریکی عضلات با روشی غیرتهاجمی و ایمن، به‌منظور استفاده در کاربردهای مختلف کنترل ابزارهای الکترونیکی و HCI است. این ابزار شامل دو کانال ثبت سیگنال EMG از عضلات دوسر بازویی هر دو دست شرکت‌کنندگان است. با قرارگیری الکترودها فعالیت الکتریکی حاصل از انقباض عضلانی دوسر بازویی هر دست ثبت شد. در این پژوهش، شرکت‌کنندگان با انقباض عضلهٔ دوسر بازویی دست غالب، حرکات (بالا، پایین، چپ و راست) نشانگر را در صفحه‌نمایش کنترل کردند. انقباض عضلهٔ دوسر بازویی دست دیگر شرکت‌کنندگان سبب تغییر عملکرد برای حرکات در صفحهٔ نمایشگر رایانه شد. انقباض هم‌زمان هر دو عضلهٔ دوسر بازویی هم به‌عنوان عمل کلیک‌کردن در صفحه‌نمایش رایانه تعریف شده بود. داده‌ها نیز پس از تبدیل به اعداد دیجیتال از طریق کابل به رایانه منتقل شدند [۱۵].

طراحی نرم‌افزار بیوفیدبک EMG

طراحی نرم‌افزار **EMG** با استفاده از نرم‌افزار **MATLAB** نسخهٔ ۲۰۱۴ توسط شرکت توان دانش مهرسام انجام شد. در این نرم‌افزار، از هر ۲۰ شرکت‌کننده در جلسات اول، ششم و دوازدهم (قبل، حین و بعد) ۴۸ تست از آموزش و کار با بیوفیدبک بازی‌گونه و بدون بازی گرفته می‌شد. برای رساندن نشانگر رایانه و حرکت آن در صفحه‌نمایش به‌کمک بیوفیدبک بازی‌گونه و بدون بازی، دایره‌های سبزرنگی به‌عنوان اهداف طراحی شدند. این دایره‌ها به‌طور تصادفی در ۳ عرض (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ پیکسل)، ۴ فاصله (۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰ پیکسل) و ۴ جهت متفاوت (شمال شرق، شمال غرب، جنوب شرق و جنوب غرب) در صفحهٔ نمایشگر ظاهر شدند. شرکت‌کنندگان با حرکت‌دادن نشانگر رایانه باید روی دوایر سبزرنگ که به‌صورت تصادفی در جهات مختلف ظاهر می‌شدند کلیک می‌کردند. با انجام این کار، نرم‌افزار به‌صورت خودکار مقادیر عددی متغیر Through put را محاسبه می‌کرد. پس از کلیک روی دایرهٔ سبزرنگ، نشانگر رایانه به‌صورت خودکار وسط صفحه قرار گرفت. پژوهشگر مقادیر این متغیر را ثبت و در فرم مخصوص داده‌ها وارد کرد.

۳. ارزیابی عملکرد

عملکرد کنترل نشانگر رایانه با متغیر عملکردی ارزیابی شد؛

متغیر Through put

برابر با شاخص سختی (**ID**) تقسیم‌بر زمان حرکت (**MT**) به سمت هدف موردنظر است. Through put نیز نسبت میزان اطلاعات منتقل‌شده است. برای هر هدف مورد آزمایش افراد محاسبه می‌شد و میانگین، تلاقی همهٔ عوامل (آزمایش‌ها، مکان و شاخص سختی) بود؛ به‌عبارت‌دیگر Through put برابر است با زمان صرف‌شده برای حرکت نشانگر به‌منظور رسیدن به هدف که سرعت و دقت را نشان می‌دهد و کارایی شرکت‌کنندگان را می‌سنجد.

Through put (bits/s) = ID/MT

- **Index of difficulty (ID)**: شاخص سختی برابر با حرکت نشانگر به‌طرف یک هدف (دوایر سبزرنگ) در صفحه‌نمایش دوبعدی است و فرمول محاسبهٔ آن عبارت است از:

$$ID=\log_2(D/W+1)$$

D: فاصلهٔ مکان اصلی نشانگر تا مکان هدف و **W** عرض هدف است.

- **Movement time (MT)**: مدت‌زمانی که کاربران برای حرکت‌دادن نشانگر رایانه سپری می‌کنند [۱۸-۱۶].

[1] Mini mental state examination

[2] Ashworth Scale

۴. پرسشنامهٔ SUS [1]

کاربردپذیری یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفی است. همچنین بنا به تعریف سازمان ISO [2] این مشخصه میزان کارایی، اثربخشی و رضایتمندی از یک محصول است که هر استفاده‌کنندهٔ خاص، در محیط ویژه‌ای، برای رسیدن به هدفی خاص از آن وسیله انتظار دارد. پرسشنامهٔ کاربردپذیری سیستم SUS یکی از ابزارهای ارزیابی است که John Brooke آن را طراحی کرد. این پرسشنامه شامل ۱۰ سؤال است که با استفاده از مقیاس لیکرت به پنج درجهٔ کاملاً مخالف تا کاملاً موافق رتبه‌بندی شده است. براساس این پرسشنامه، رضایت کلی کاربران اندازه‌گیری شده است. همچنین این پرسشنامه ۵ گزینه‌ای است که امتیاز هر سؤال از صفرتا چهار است. به‌منظور دستیابی به نمرهٔ رضایت فرد از سؤالات فرد یک واحد از امتیاز فرد، و برای سؤالات زوج امتیاز گزینهٔ انتخابی از عدد ۵ کسر می‌شود. جمع این نمرات در ۲/۵ ضرب می‌شود و درنهایت نمرهٔ نهایی به‌دست می‌آید. نمرهٔ نهایی، عددی بین صفر تا ۱۰۰ است. امتیاز ۵۵درصد یا بیشتر نشان‌دهندهٔ رضایتمندی و کمتر از ۵۵درصد نشان‌دهندهٔ نبود رضایتمندی است. پایایی و روایی نسخهٔ فارسی این پرسشنامه را Dianat و همکاران انجام دادند [۱۹-۲۲].

۵. دستورالعمل مراحل اجرایی پژوهش

گام اول

توضیحات شفاهی برای کنترل نشانگر رایانه با استفاده از EMG ناشی از عضلات دوسر بازویی هر دو دست به شرکت‌کنندگان داده شد. شرکت‌کنندگان با دست برترشان حرکات بالا، پایین، چپ و راست نشانگر رایانه را کنترل کردند. با انقباض عضلهٔ دوسر بازویی دست دیگر عملکرد ابزار کنترل شد؛ به‌این‌صورت که روشن‌شدن چراغ سبز بیوفیدبک نشان‌دهندهٔ حرکت به‌طرف راست، چراغ‌قرمز حرکت به‌سمت چپ، چراغ سبز و قرمز روشن حرکت به‌طرف بالا و دو چراغ خاموش حرکت به‌طرف پایین نشانگر رایانه امکان‌پذیر است. برای کلیک‌کردن نیز شرکت‌کنندگان باید عضلهٔ دوسر بازویی هر دو دست را همزمان منقبض می‌کردند. گروه‌بندی شرکت‌کنندگان مطابق جدول ۱ صورت گرفت.

جدول ۱. گروه‌های شرکت‌کننده بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی گونه

گروه ۱	بیمار با بیوفیدبک EMG
گروه ۲	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه
گروه ۳	سالم با بیوفیدبک EMG
گروه ۴	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه

گام دوم

از شرکت‌کنندگان درخواست شد روی صندلی ارگونومیکی (با پشتی و ارتفاع قابل تنظیم) به فاصلهٔ ۴۰ اینچی از لپ‌تاپی با صفحه‌نمایشگر ۱۴ اینچ بنشینند (شکل ۱).

شرکت‌کنندگان هر دو دست خود را روی دستهٔ صندلی قرار دادند. پژوهشگر نیز به عضلهٔ دوسر بازویی هر دست ۳ الکترود (۲ عدد تفاضلی و ۱ مرجع) وصل کرد. با توجه به نوع الکترودگذاری، سیگنال EMG از عضلات دوسر بازویی هر دو دست شرکت‌کنندگان برای تعامل با نشانگر رایانه گرفته شد. ارتباط الکترودها با رایانه از طریق گیرندهٔ کابل رابط بود. بعد از تبدیل آنالوگ به دیجیتال این سیگنال‌ها، الگوی فعالیت عضلات به‌عنوان حرکات (بالا، پایین، راست و چپ و کلیک‌کردن) نشانگر در بازی یا صفحه‌نمایش تعبیر شد [۱۶].

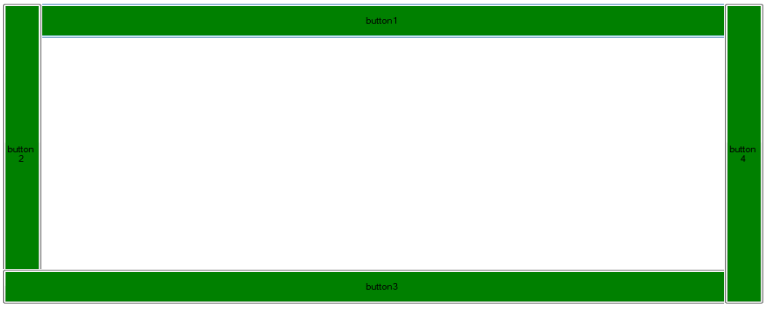
[1] System usability scale

[2] International Organization for Standardization

شکل ۱. محل نصب الکترودها روی عضلهٔ دوسر بازویی شرکت‌کنندگان

گام سوم

از شرکت‌کنندگان در هر گروه خواسته شد به‌کمک عضلات دوسر بازویی خود، نشانگر صفحه‌نمایش بیوفیدبک طراحی‌شده یا بازی خواسته‌شده را حرکت دهند. همچنین از آن‌ها خواسته شد همان‌طور که کنترل نشانگر رایانه را با عضلات به‌دست گرفته‌اند، دست خود را در جهات مشخص‌شده برای کنترل حرکت نشانگر در صفحه‌نمایش حرکت دهند و تمرین و تکرار کنند. شرکت‌کنندگان باید ۳ روز در هفته و طی یک ۱ ماه در جلسات ۳۰ دقیقه‌ای از بیوفیدبک EMG یا بیوفیدبک بازی‌گونه استفاده می‌کردند (شکل ۲). در هر جلسه به شرکت‌کنندگان آموزش داده می‌شد کنترل نشانگر را تمرین کنند. همچنین آن‌ها به ازای هر ۱۵ دقیقه کار با بیوفیدبک EMG یا بیوفیدبک بازی‌گونه ۵ دقیقه استراحت می‌گرفتند [۱۸، ۶].

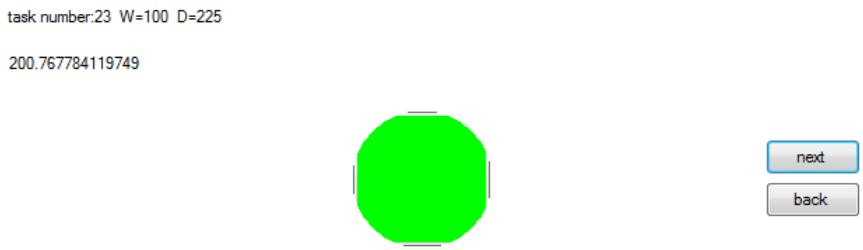


شکل ۲. تصویر بیوفیدبک EMG (شرکت‌کنندگان باید نشانگر رایانه در این حاشیهٔ سبزرنگ را حرکت می‌دادند).

گام چهارم

چهل‌وهشت تست برای کارکردن با بیوفیدبک EMG و بازی‌گونه اجرا شد. تست به‌گونه‌ای طراحی شده بود که

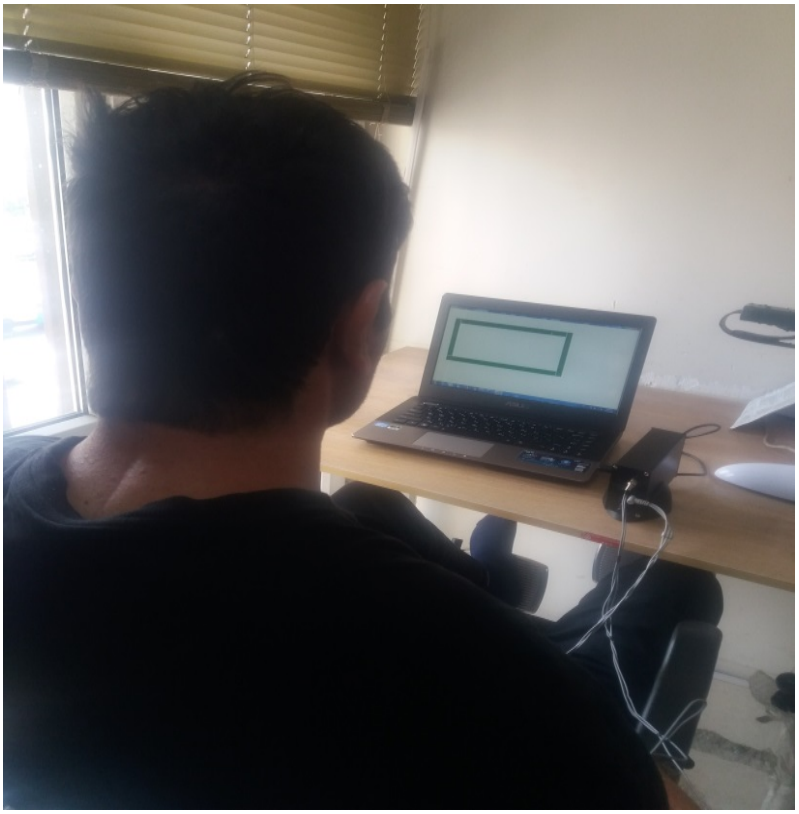
شرکت‌کنندگان می‌بایست نشانگر را روی دوایر سبزرنگ با اندازه و فاصله و جهت تصادفی قرار می‌دادند و در ناحیهٔ دوایر سبزرنگ کلیک می‌کردند. با این کار، زمان ثبت متوقف شد. ۴۸ تست در جلسهٔ اول، ششم و دوازدهم پس از آموزش و کارکردن با سیستم بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی‌گونه از شرکت‌کنندگان گرفته شد (شکل ۳).



شکل ۳. صفحه‌نمایش تست (شرکت‌کنندگان باید نشانگر رایانه را به دوایر سبزرنگ می‌رساندند و کلیک می‌کردند).

گام پنجم

داده‌های متغیر Through put شرکت‌کنندگان در هر مرحله از انجام تست (شامل مدت‌زمان انجام تست، دقت و سرعت شرکت‌کنندگان) با توجه به عرض دایره و فاصلهٔ آن از مرکز ثبت شد. برای جلوگیری از تأثیر خستگی عضلات شرکت‌کنندگان، پس از انجام ۱۸ تست، آن‌ها ۵ دقیقه استراحت می‌کردند (شکل ۴).



شکل ۴. کار با بیوفیدبک EMG

۶. آنالیز آماری

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۳ (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA) استفاده شد. برای توصیف داده‌ها نیز از شاخص‌های آماری مانند میانگین، انحراف معیار و آزمون‌های آماری مقایسهٔ میانگین، Shapiro-Wilk، Tukey و اندازه‌گیری مکرر استفاده شد.

یافته‌ها

داده‌ها از ۴ گروه ۵ نفری شرکت‌کنندگان در جلسهٔ اول، ششم و دوازدهم، بعد از یک ماه کار و آموزش (هفته‌ای ۳ جلسهٔ ۳۰ دقیقه‌ای) با بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی‌گونه ثبت شد. نتایج نشان می‌دهد، میان مقادیر پرسشنامهٔ کاربردپذیری ۴ گروه شرکت‌کننده اختلاف معنادار وجود دارد (***P***=۰/۰۱۸)؛ بنابراین با آزمون Tukey معناداری گروه‌ها در پرسشنامهٔ SUS با یکدیگر مقایسه شدند. براساس جدول ۲ مشخص شد میان گروه بیمار با بیوفیدبک EMG و بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه اختلاف معناداری وجود دارد (***P***=۰/۰۲۸). همچنین میان گروه بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه و سالم با بیوفیدبک EMG نیز اختلاف معنادار وجود داشت (***P***=۰/۰۴۹).

جدول ۲. مقایسهٔ معناداری میان ۴ گروه شرکت‌کننده در پرسشنامهٔ SUS

		اختلاف میانگین	P-value
بیمار با بیوفیدبک EMG	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	-۱۱/۰۰۰*	۰/۰۲۸
	سالم با بیوفیدبک EMG	-۱/۰۰۰	۰/۹۹۱
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	-۷/۲۰۰	۰/۲۰۷
بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	بیمار با بیوفیدبک EMG	۱۱/۰۰۰*	۰/۰۲۸
	سالم با بیوفیدبک EMG	۱۰/۰۰۰*	۰/۰۴۹
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۳/۸۰۰	۰/۷۰۱
سالم با بیوفیدبک EMG	بیمار با بیوفیدبک EMG	۱/۰۰۰	۰/۹۹۱
	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	-۱۰/۰۰۰*	۰/۰۴۹
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	-۶/۲۰۰	۰/۳۱۹
سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	بیمار با بیوفیدبک EMG	۷/۲۰۰	۰/۲۰۷
	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	-۳/۸۰۰	۰/۷۰۱
	سالم با بیوفیدبک EMG	۶/۲۰۰	۰/۳۱۹

برای بررسی معناداری میان مقادیر متغیر Through put در گروه‌های شرکت‌کننده در جلسهٔ اول، جلسهٔ ششم و جلسهٔ دوازدهم، از آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. براساس جدول ۳، تأثیر زمان درون آزمودنی‌ها بر متغیر Through put معنادار (*P*<۰/۰۰۱) بود. همچنین اثر زمان و گروه درون آزمودنی‌ها معنادار بود (*P*=۰/۰۲۲).

جدول ۳. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر جلسهٔ اول، جلسهٔ ششم و جلسهٔ دوازدهم متغیر TP در ۴ گروه شرکت‌کننده

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	F آمارهٔ	مقدار احتمال	مجذور اتا	توان آماری
درون آزمودنی‌ها							
زمان	۶۴۱۸۳۲/۴۳۳	۱/۳۵۳	۴۷۴۲۹۳/۵۷۰	۳۲/۱۵۸	۰/۰۰۰	۰/۶۶۸	۱/۰۰۰

منبع تغییرات		مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	F آمارهٔ	مقدار احتمال	مجذور اتا	توان آماری
	زمان و گروه	۲۱۲۰۴۱/۹۶۷	۴/۰۶۰	۵۲۲۳۰/۷۳۶	۳/۵۴۱	۰/۰۲۲	۰/۳۹۹	۰/۷۸۳
	خطا	۳۱۹۳۳۵/۶۰۰	۲۱/۶۵۲	۱۴۷۴۸/۶۷۳				
بین آزمودنی‌ها								
	گروه	۲۸۷۵۵۸۶/۵۸۳	۳	۹۵۸۵۲۸/۸۶۱	۶/۸۹۷	۰/۰۰۳	۰/۵۶۴	۰/۹۳۵
	خطا	۲۲۲۳۵۵۷/۶۰۰	۱۶	۱۳۸۹۷۲/۳۵۰				

نتایج آزمون Shapiro-Wilk برای بررسی نرمال‌بودن متغیر Through put به شرح زیر است (جدول ۴).

جدول ۴. تست آزمون Shapiro-Wilk نرمال‌بودن متغیر Through put

	گروه	آمار آزمون	شرکت‌کنندگان هر گروه	مقدار احتمال
Through put (قبل)	۱	۰/۸۵۴	۵	۰/۲۰۸
	۲	۰/۹۴۰	۵	۰/۶۶۴
	۳	۰/۹۸۷	۵	۰/۹۶۸
	۴	۰/۸۷۸	۵	۰/۲۹۹
Through put (حین)	۱	۰/۸۰۳	۵	۰/۰۸۶
	۲	۰/۹۱۷	۵	۰/۵۱۴
	۳	۰/۹۶۲	۵	۰/۸۲۵
	۴	۰/۸۷۶	۵	۰/۲۹۲
Through put (بعد)	۱	۰/۶۵۴	۵	۰/۰۰۳
	۲	۰/۸۱۲	۵	۰/۱۰۲
	۳	۰/۹۱۷	۵	۰/۵۱۰
	۴	۰/۹۱۸	۵	۰/۵۱۸

در جدول ۵، معناداری متغیر Through put در میان ۴ گروه شرکت‌کننده مقایسه شده است. با توجه به این جدول، بین متغیر Through put گروه بیمار با بیوفیدبک EMG و گروه سالم با بیوفیدبک EMG اختلاف معناداری وجود دارد (P=۰/۰۰۹). همچنین میان گروه بیمار با بیوفیدبک EMG و گروه سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه اختلاف معناداری وجود دارد (P=۰/۰۰۴).

جدول ۵. مقایسهٔ معناداری درون‌گروهی متغیر Through put

گروه		اختلاف میانگین	P-value
بیمار با بیوفیدبکEMG	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	۳۳۹/۰۷	۰/۱۰۰
	سالم با بیوفیدبکEMG	۵۰۷/۹۳*	**۰/۰۰۹**
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۵۶۰/۱۳*	**۰/۰۰۴**
بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	بیمار با بیوفیدبکEMG	-۳۳۹/۰۷	۰/۱۰۰
	سالم با بیوفیدبکEMG	۱۶۸/۸۷	۰/۶۱۱
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۲۲۱/۰۷	۰/۳۹۴
سالم با بیوفیدبکEMG	بیمار با بیوفیدبکEMG	-۵۰۷/۹۳*	**۰/۰۰۹**
	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	-۱۶۸/۸۷	۰/۶۱۱
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۵۲/۲۰	۰/۹۸۰

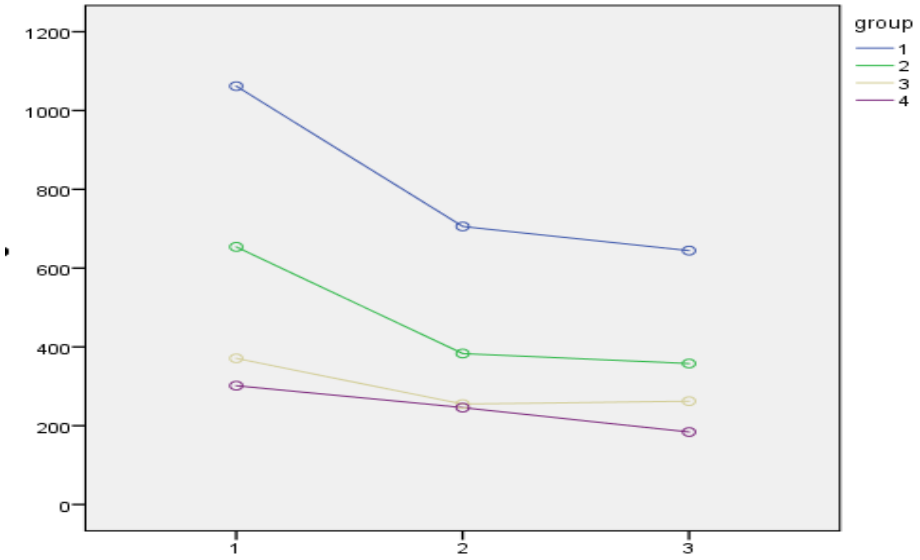
	گروه	اختلاف میانگین	P-value
سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	بیمار با بیوفیدبکEMG	-۵۶۰/۱۳*	**۰/۰۰۴**
	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	-۲۲۱/۰۷	۰/۳۹۴
	سالم با بیوفیدبکEMG	-۵۲/۲۰	۰/۹۸۰

در جدول ۶، شاخص‌های توصیفی میانگین و انحراف از معیار به‌دست‌آمده برای متغیر Through put ارائه شده است.

جدول ۶. میانگین و انحراف معیار متغیر Through put در ۴ گروه شرکت‌کننده

متغیر	گروه	میانگین (bits/s)	انحراف معیار (bits/s)
جلسهٔ اول	بیمار با بیوفیدبکEMG	۱۰۶۱/۸۰	۴۰۱/۵۰۳
	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	۶۵۳/۸۰	۲۸۳/۹۰۸
	سالم با بیوفیدبکEMG	۳۷۱/۰۰	۸۸/۷۲۴
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۳۰۱/۶۰	۱۰۷/۹۶۲
مجموع	۴ گروه	۵۹۷/۰۵	۳۸۶/۱۶۶
جلسهٔ ششم	بیمار با بیوفیدبکEMG	۷۰۵/۸۰	۴۴۰/۸۵۹
	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	۳۸۳/۲۰	۹۵/۲۹۰
	سالم با بیوفیدبکEMG	۲۵۵/۰۰	۴۶/۷۹۷
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۲۴۶/۰۰	۴۴/۷۵۵
مجموع	۴ گروه	۳۹۷/۵۰	۲۸۳/۱۲۹
جلسهٔ دوازدهم	بیمار با بیوفیدبکEMG	۶۴۴/۴۰	۳۹۵/۱۲۲
	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	۳۵۷/۸۰	۶۴/۵۵۰
	سالم با بیوفیدبکEMG	۲۶۲/۲۰	۵۶/۰۸۲
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۱۸۴/۰۰	۵۷/۶۵۴
مجموع	۴ گروه	۳۶۲/۱۰	۲۵۸/۹۵۴

نتایج نشان می‌دهد، میانگین کلی متغیر Through put در ۴ گروه کاهش یافته است؛ یعنی با گذشت زمان شرکت‌کنندگان کنترل بهتری بر نمایشگر رایانه داشتند. در شکل ۵، مقادیر متغیر Through put در ۴ گروه شرکت‌کننده در جلسهٔ اول، جلسهٔ ششم و جلسهٔ دوازدهم با استفاده از بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی‌گونه قابل مشاهده است.



شکل ۵. مقایسهٔ میانگین متغیر Through put در جلسات اول، ششم و دوازدهم ۴ گروه شرکت‌کننده

بحث

هدف این پژوهش، بررسی کارایی و کاربردپذیری بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی‌گونه در افراد دارای ضایعات نخاعی و سالم بود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد، پس از چندین جلسه (۳ جلسهٔ ۳۰ دقیقه‌ای به مدت ۱ ماه) آموزش و کار در متغیرThrough put شرکت‌کنندگان کاهش میانگین مقادیر با گذشت زمان و افزایش تعداد جلسات مشاهده شد؛ بدین‌معنا که شرکت‌کنندگان استفاده‌کننده از سیستم تعاملی کنترل ورودی رایانه، در سرعت واکنش و میزان جابه‌جایی نشانگر رایانه در صفحه‌نمایش، به کارایی دست یافتند؛ بنابراین هرچه زمان بیشتری از واسط انسان‌رایانه استفاده شود، شرکت‌کنندگان کارایی و عملکرد بهتری دارند.

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت، میانگین مقدار متغیر Through put در جلسهٔ دوازدهم در مقایسه با جلسهٔ اول در هر ۴ گروه کاهش یافته است. میانگین نهایی متغیر Through put در گروه‌های بیوفیدبک بازی‌گونه شرکت‌کنندگان سالم و بیمار از دو گروه بیوفیدبک EMG بدون بازی کمتر بوده است. این متغیر در دو گروه استفاده‌کننده از بیوفیدبک بازی‌گونه کارایی بهتری کسب کرده است. حداکثر این کاهش در جلسات اول تا ششم رخ داده است، اما از جلسهٔ ششم تا جلسهٔ دوازدهم تغییرات متغیر با شدت کمتری صورت گرفته است. میانگین متغیر Through put که کارایی سرعت و دقت شرکت‌کنندگان را بررسی می‌کند، به‌شکلی قابل‌توجه در شرکت‌کنندگان سالم و بیمار با استفاده از بیوفیدبک بازی‌گونه کاهش عددی داشته است.

حداکثر شیب تغییرات میان جلسهٔ اول تا ششم در شرکت‌کنندگان سالم و دارای SCI ایجاد شده است. این موضوع نشان‌دهندهٔ بیشترین آموزش و یادگیری حرکتی استفاده از بیوفیدبک EMG با بازی و بدون بازی، برای کنترل نشانگر رایانه در شش جلسهٔ اول پژوهش بوده است. باتوجه‌به میانگین عددی متغیر Through put می‌توان گفت، میزان تغییرات میان جلسات ششم تا دوازدهم در مقایسه با جلسات میان اول و ششم به‌طور قابل‌توجهی کمتر بوده است. شاید بتوان گفت به‌دلیل کنترل حرکتی ضعیف بیماران دارای ضایعات نخاعی میزان جابه‌جایی نشانگر رایانه‌ها بیشتر از شرکت‌کنندگان سالم بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت بیماران دارای ضایعهٔ نخاعی با استفاده از بیوفیدبک EMG بازی‌گونه حداکثر کنترل و عملکرد را به‌دست آورده‌اند. پیشنهاد می‌شود برای بهبود دقت و کنترل عضلانی دقیق‌تر بیماران ضایعهٔ نخاعی از بیوفیدبک EMG بازی‌گونه استفاده شود. نتایج این پژوهش همسو با نتایج مطالعهٔ Williams است.

باتوجه‌به نتایج استنتاج‌شده از پرسشنامهٔ کاربردپذیری SUS، هر دو گروه شرکت‌کننده در پژوهش، بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی‌گونه را کاربردپذیر می‌دانستند (رضایت بیش از ۵۵درصد)؛ درصورتی‌که شرکت‌کنندگان بیمار و سالم استفاده از بیوفیدبک EMG بازی‌گونه را کاربردپذیرتر می‌دانستند (۷۵/۸۰ و ۷۲درصد). همچنین بیوفیدبک EMG مبتنی بر بازی در افراد دارای ضایعات نخاعی گردنی از سایر گروه‌ها کاربردپذیرتر بود. پایین‌ترین کاربردپذیری در دو گروه بیمار و سالم با استفاده از بیوفیدبک EMG بود (۶۴/۳۰ و ۶۷/۶۰درصد).

نتیجه‌گیری

در مقایسه با سایر سیستم‌های HCI، استفاده از بیوفیدبک EMG برای طیف بیشتری از افراد قابل استفاده است. کار با سیستم بیوفیدبک EMG از سایر سیستم‌های تعاملی مانند سیستم تعاملی ردیاب سر و چشمی آسان‌تر و ازنظر اقتصادی به‌صرفه‌تر است. سیستم بیوفیدبک EMG و سیستم بیوفیدبک بازی‌گونه بعد از چندین جلسه کار و آموزش قابل استفاده است. براساس نتایج کاربردپذیری شرکت‌کنندگان می‌توان گفت، هر دو واسط انسان‌رایانهٔ بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی‌گونه، کاربردپذیری دارند. به‌دلیل کنترل عضلانی دقیق‌تر دو گروه افراد سالم، مقادیر عددی متغیر اندازه‌گیری‌شده درمجموع کمتر نشان داده شد. کار با این سیستم تعاملی برای افراد دارای SCI گردنی به علت کنترل حرکتی ضعیف‌تر نسبت به افراد سالم دشوارتر است. افراد SCI گردنی دقت کمتر و خروج از اهداف بیشتری دارند. همچنین مقادیر عددی متغیرهای این افراد بالاتر از افراد سالم است که پیشنهاد داده می‌شود این موضوع را با آموزش و استفاده بیشتر از بیوفیدبک بازی گونه بتوانند جبران کنند. باگذشت زمان و استفاده بیشتر افراد SCI گردنی از واسط انسان‌رایانه، کارایی و کاربردپذیری این تعامل برای این افراد به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌یابد.

ترکیب بیوفیدبک EMG با بازی سبب افزایش انگیزه و هدفمندشدن کنترل نشانگر رایانه در شرکت‌کنندگان شد. با استفاده از بیوفیدبک EMG بازی‌گونه تلاش و استفادهٔ بیشتری در شرکت‌کنندگان سالم و دارای ضایعهٔ نخاعی گردنی قابل مشاهده بود. شرکت‌کنندگان نیز استفاده از این نوع بیوفیدبک را کاربردپذیرتر بیان کردند. می‌توان کارایی و کاربردپذیری استفاده از کنترل نشانگر رایانه‌ها، ویلچر و سایر وسایل مشابه در افراد با ناتوانی در دست‌ها را با استفاده از بیوفیدبک EMG بازی‌گونه افزایش داد. پیشنهاد می‌شود در سایر تعاملات حوزهٔ HCI از بازی برای افزایش کارایی و کاربردپذیری استفاده شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از همهٔ شرکت‌کنندگان اعلام می‌کنند. همچنین تمام کدهای اخلاقی ارائه‌شده از سوی دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی مطابق با کد IR.USWR.REC.1397.044 در این تحقیق رعایت شد.

تعارض منافع

بین نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

منابع مالی

منابع مالی این مطالعه توسط نویسندگان تامین شده است.

References

1. Pinto SM, Galang G. Concurrent SCI and TBI: Epidemiology, Shared Pathophysiology, Assessment, and Prognostication. Curr. Phys. Med. Rehabil. Rep. 2016 Mar 1;4(1):71-9. [DOI:10.1007/s40141-016-0109-6]
2. Kloosterman MG, Snoek GJ, Jannink MJ. Systematic review of the effects of exercise therapy on the upper extremity of patients with spinal-cord injury. Spinal Cord 2009 Mar;47(3):196-203. [DOI:10.1038/sc.2008.113] [PMID]
3. Tanimoto Y, Rokumyo Y, Furusawa K, Tokuhiro A, Suzuki Y, Takami K, Yamamoto H. Development of a computer input device for patients with tetraplegia. Comput. Stand. Interfaces. 2005 Dec 1;28(2):166-75. [DOI:10.1016/j.csi.2005.01.018]
4. Park SY, Yoo WG. Effect of EMG-based feedback on posture correction during computer operation. J. Occup. Health. 2012 Jul;54(4):271-7. [DOI:10.1539/joh.12-0052-OA] [PMID]
5. Kim DG, Lee BS, Lim SE, Kim DA, Hwang SI, Yim YL, Park JM. The selection of the appropriate computer interface device for patients with high cervical cord injury. Ann. Rehabil. Med. 2013 Jun;37(3):443. [DOI:10.5535/arm.2013.37.3.443] [PMID] [PMCID]
6. Williams MR, Kirsch RF. Evaluation of head orientation and neck muscle EMG signals as three-dimensional command sources. J NEUROENG REHABIL. 2015;12(1):25. [DOI:10.1186/s12984-015-0016-6] [PMID] [PMCID]
7. Yang X, Chen G, editors. Human-computer interaction design in product design. 2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science; 2009: IEEE. [DOI:10.1109/ETCS.2009.359]
8. Barreto A, Scargle S, Adjouadi M. A practical EMG-based human-computer interface for users with motor disabilities. 2000. [DOI:10.1145/569270.569272]
9. Pop-Jordanova N, Demerdzieva A. Biofeedback training for peak performance in sport-case study. Open

Access Maced. J. Medical Sci. 2010 Jun 15;3(2):113-8. [DOI:10.3889/MJMS.1857-5773.2010.0098]

10. Bhandari R, Parnandi A, Shipp E, Ahmed B, Gutierrez-Osuna R. Music-based respiratory biofeedback in visually-demanding tasks. InNIME 2015 Jan 1.

11. Neblett R. Surface electromyographic (SEMG) biofeedback for chronic low back pain. InHealthcare 2016 Jun (Vol. 4, No. 2, p. 27). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. [DOI:10.3390/healthcare4020027] [PMID] [PMCID]

12. Yoo JW, Lee DR, Sim YJ, You JH, Kim CJ. Effects of innovative virtual reality game and EMG biofeedback on neuromotor control in cerebral palsy. Biomed Mater Eng. 2014 Jan 1;24(6):3613-8. [DOI:10.3233/BME-141188] [PMID]

13. Muguro JK, Sasaki M, Matsushita K, Njeri W, Laksono PW, Suhaimi MS. Development of neck surface electromyography gaming control interface for application in tetraplegic patients' entertainment. InAIP Conference Proceedings 2020 Apr 13 (Vol. 2217, No. 1, p. 030039). AIP Publishing LLC.

14. Borish CN, Bertucco M, Sanger TD. Effect of target distance on controllability for myocontrol. Int. J. Hum. Comput. 2020 Aug 1;140:102432. [DOI:10.1016/j.ijhcs.2020.102432]

15. Afsharipour B, Sandhu MS, Rasool G, Suresh NL, Rymer WZ. Using surface electromyography to detect changes in innervation zones pattern after human cervical spinal cord injury. In2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 2016 Aug 16 (pp. 3757-3760). IEEE. [DOI:10.1109/EMBC.2016.7591545] [PMID]

16. Choi C, Rim B, Kim J. Development and evaluation of a assistive computer interface by SEMG for individuals with spinal cord injuries. In2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics 2011 Jun 29 (pp. 1-5). IEEE.

17. Safavi SM, Sundaram SM, Heydarigorji A, Udaiwal NS, Chou PH. Application of infrared scanning of the neck muscles to control a cursor in human-computer interface. In2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 2017 Jul 11 (pp. 787-790). IEEE. [DOI:10.1109/EMBC.2017.8036942] [PMID]

18. Williams MR, Kirsch RF. Evaluation of head orientation and neck muscle EMG signals as command inputs to a human-computer interface for individuals with high tetraplegia. IEEE T NEUR SYS REH 2008 Sep 19;16(5):485-96. [DOI:10.1109/TNSRE.2008.2006216] [PMID] [PMCID]

19. Brooke J. Sus: a "quick and dirty'usability. Usability evaluation in industry. 1996 Jun 11;189.

20. Weller RO, Djuanda E, Yow HY, Carare RO. Lymphatic drainage of the brain and the pathophysiology of neurological disease. Acta Neuropathol. 2009 Jan 1;117(1):1. [DOI:10.1007/s00401-008-0457-0] [PMID]

21. Sadoughi F, KHOSHKAM M, FARAHI SR. Usability evaluation of hospital information systems in hospitals affiliated with Mashhad University of Medical Sciences, Iran. 2012

22. 22. Dianat I, Ghanbari Z, AsghariJafarabadi M. Psychometric properties of the persian language version of the system usability scale. Health Promot Perspect. 2014;4(1):82.