

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

Mehdi Omid<sup>1</sup> , Amin Asgharzadeh<sup>2</sup> , Seifollah Gharib<sup>3</sup> , Mohsen Vahedi<sup>4</sup> ,  
Amir Salar Jafarpisheh<sup>5\*</sup> 

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/ijergon.8.4.50](https://doi.org/10.30699/ijergon.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](mailto: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:

Omid 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

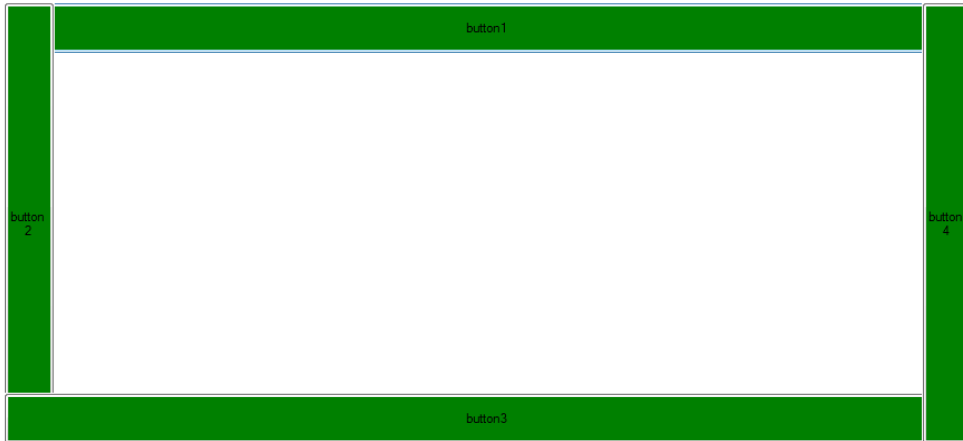
The sample size was 20 participants (healthy and with spinal cervical lesions) who were selected regarding availability. The statistical population of the study (that was conducted 2019-2020) was spinal cord injury patients referred to spinal cord injury clinic in Tehran. Participants received three 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

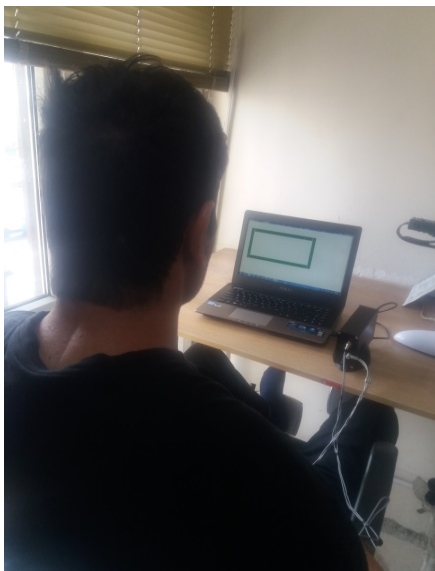


**Figure 2.** EMG biofeedback image (participants had to move the computer cursor in this green border).

task number:23 W=100 D=225  
200.767784119749



**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
<b>Patient with EMG biofeedback</b>	Patient with playful biofeedback	*11.000_	<b>0.028</b>
	Healthy with EMG biofeedback	1.000-	0.991
	Healthy with playful biofeedback	7.200-	0.207
<b>Patient with playful biofeedback</b>	Patient with EMG biofeedback	*11.000	<b>0.028</b>
	Healthy with EMG biofeedback	*10.000	<b>0.049</b>
	Healthy with playful biofeedback	3.800	0.701
<b>Healthy with EMG biofeedback</b>	Patient with EMG biofeedback	1.000	0.991
	Patient with playful biofeedback	*10.000_	<b>0.049</b>
	Healthy with playful biofeedback	6.200-	0.319
<b>Healthy with playful biofeedback</b>	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
<b>Inside the subjects</b>							
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				
<b>Between subjects</b>							
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
<b>Through put (before)</b>	1	0.854	5	0.208
	2	0.940	5	0.664
	3	0.987	5	0.968
	4	0.878	5	0.299
<b>Through put (while)</b>	1	0.803	5	0.086
	2	0.917	5	0.514
	3	0.962	5	0.825
	4	0.876	5	0.292
<b>Through put (after)</b>	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
<b>Patient with EMG biofeedback</b>	Patient with playful biofeedback	339.07	0.100
	Healthy with EMG biofeedback	*507.93	<b>0.009</b>
	Healthy with playful biofeedback	*560.13	<b>0.004</b>
<b>Patient with playful biofeedback</b>	Patient with EMG biofeedback	339.07-	0.100
	Healthy with EMG biofeedback	168.87	0.611
	Healthy with playful biofeedback	221.07	0.394
<b>Healthy with EMG biofeedback</b>	Patient with EMG biofeedback	*507.93_	<b>0.009</b>
	Patient with playful biofeedback	168.87-	0.611
	Healthy with playful biofeedback	52.20	0.980
<b>Healthy with playful biofeedback</b>	Patient with EMG biofeedback	*560.13_	<b>0.004</b>
	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)
<b>First session</b>	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
<b>Total</b>	4 groups	597.05	386.166
<b>Sixth session</b>	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
<b>Total</b>	4 groups	397.50	283.129
<b>Twelfth session</b>	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
<b>Total</b>	4 groups	362.10	258.954

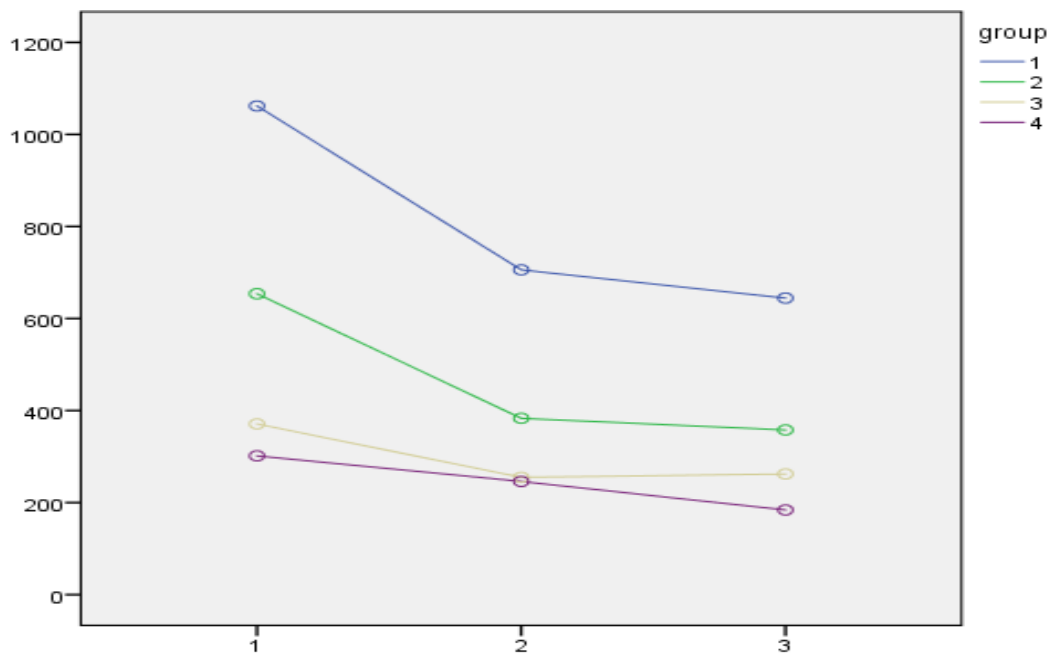


Figure 5. Comparison of the mean of the Through put variable in the first, sixth and twelfth sessions of 4 participating groups

## 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.

## مقاله پژوهشی

## کارایی و کاربردپذیری واسط انسان رایانه در دو روش بیوفیدبک EMG مبتنی بر بازی رایانه‌ای و بدون بازی رایانه‌ای

مهدی امیدی<sup>۱</sup>، امین اصغرزاده<sup>۲</sup>، سیف اله غریب<sup>۳</sup>، محسن واحدی<sup>۴</sup>، امیرسالار جعفرپیشه<sup>۵\*</sup>

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 حرفه‌ای، 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	خلاصه
دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۱ انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸	<p><b>زمینه و هدف:</b> گسترش رایانه‌ها همراه با توسعه نرم‌افزارها و اینترنت، انقلاب بزرگی در کار و زندگی افراد ناتوان از جمله 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 انسان رایانه در افراد دارای ضایعه نخاعی گردنی و افراد سالم در دو روش بیوفیدبک EMG مبتنی بر بازی رایانه‌ای و بدون بازی رایانه‌ای بود.</p> <p><b>روش کار:</b> جامعه 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 در دسترس انتخاب شدند و به کمک بیوفیدبک EMG بازی‌گونه و بدون بازی، نشانگر رایانه را برای حرکات بالا، پایین، چپ، راست و کلیک کردن روی صفحه نمایشگر کنترل می‌کردند. در این مطالعه، از متغیر Through put (bits/s) به منظور بررسی کارایی و پرسشنامه SUS برای بررسی کاربردپذیری شرکت‌کنندگان سالم و دارای ضایعه نخاعی استفاده شد.</p> <p><b>یافته‌ها:</b> شرکت‌کنندگان دارای ضایعات نخاعی گردنی و افراد سالم، استفاده از بیوفیدبک بازی‌گونه را به ترتیب ۷۵/۸۰ درصد و ۷۲ درصد کاربردپذیر می‌دانستند. باگذشت زمان مقادیر عددی متغیر Through put در افراد سالم و دارای ضایعه 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.</p> <p><b>نتیجه گیری:</b> 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.</p> <p><b>کلیدواژه‌ها:</b> تعامل انسان رایانه، بیوفیدبک EMG بازی‌گونه، کنترل موس، ضایعات نخاعی گردنی</p>
<p><b>نویسنده مسئول:</b> امیرسالار جعفرپیشه استادیار، گروه ارگونومی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران پست الکترونیک: <a href="mailto:jafarpisheh@gmail.com">jafarpisheh@gmail.com</a></p>	
<p>برای دانلود این مقاله، کد زیر را با موبایل خود اسکن کنید.</p> 	

## مقدمه

به SCI منجر می‌شوند، تصادفات وسایل نقلیه و افتادن هاست [۱]. شیوع و بروز SCI به دلیل ارتباط با آمارهای منطقه‌ای و برخی

از مهم‌ترین عوامل ایجادکننده اختلال و ناتوانی حرکتی می‌توان به SCI<sup>۱</sup> یا ضایعات نخاعی اشاره کرد. از علل عمده‌ای که

<sup>۱</sup> Spinal cord injury



زیستی بدن اندازه‌گیری می‌شود و به فرد بازخورد می‌دهد تا آگاهی و کنترل بر فرایندهای فیزیولوژیکی خود را کسب کند [۹]. بیوفیدبک EMG<sup>3</sup> می‌تواند با استفاده از رژیم تمرینی مبتنی بر بازی<sup>4</sup> 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 حوزه HCI است. از این بیوسیگنال می‌توان برای کنترل ورودی نشانگر رایانه‌ها برای کنترل حرکات نشانگر در صفحه نمایشگر بهره برد [۹-۱۱]. استفاده از بازی‌ها سبب نتایج ملموس، از جمله 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 [۱۲، ۱۳].

با توجه به مطالعات، از اساسی‌ترین دغدغه‌های افراد دارای SCI گردنی با ناتوانی در عملکرد اندام فوقانی، مشکلات بازگشت به کار و استفاده مجدد از رایانه‌هاست. برای متخصصان حیطة سلامت از جمله ارگونومیست‌ها ضروری است برای ارزیابی، راه‌اندازی و تعامل با رایانه‌ها، وسیله مناسبی به‌عنوان ورودی رایانه‌ای برای بیماران دارای SCI گردنی پیشنهاد دهند. همچنین در کنترل مواردی مانند رایانه‌ها با استفاده از بیوفیدبک EMG باید از نظر سرعت و دقت، پتانسیلی مشابه حرکات طبیعی ایجاد کنند [۱۴، ۱۵، 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<sup>۵</sup> و کاربردپذیری<sup>۶</sup> آن ارزیابی شد.

## روش کار

فاکتورهای اجتماعی اقتصادی بسیار متغیر است. آمارها نشان می‌دهد، شیوع آسیب نخاعی و عصبی در کشورهای پیشرفته سالانه حدود ۱۵ تا ۴۰ مورد در هر ۱ میلیون نفر است. حدود ۲۵۰ هزار نفر در ایالات متحده، SCI دارند که سالانه ۱۱ هزار نفر بر این تعداد افزوده می‌شود. این آمار در ایران حدود ۴۰ تا ۵۰ نفر در ۱ میلیون نفر است و سالانه بیش از ۳ هزار نفر دچار SCI می‌شوند که بیشتر آن‌ها مردان هستند (حدود ۸۲ درصد). حدود ۱۸ درصد این جمعیت شامل افراد دارای SCI گردنی هستند که مشکلات جدی از ناحیه شانه به پایین دارند. ۵۰ درصد 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 روزمره زندگی<sup>۱</sup> می‌شود و به محدودیت در فعالیت‌های اجتماعی اقتصادی از جمله 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 کلیک کردن 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 توسعه نرم‌افزارها و اینترنت انقلاب بزرگی در کار و زندگی افراد ناتوان از جمله افراد دارای SCI با محدودیت حرکتی ایجاد کرده است [۴، ۵]. SCI گردنی سبب از دست رفتن میزان قابل توجهی از عملکرد افراد می‌شود که این ناتوانی‌ها، بر خانواده، واحدهای درمانی و جامعه تأثیرگذار است. از سال ۲۰۰۳ به بعد حدود ۵۵/۵ درصد مشاغل از رایانه استفاده می‌کنند. در این میان، تنها ۲۴/۲ درصد افراد دارای SCI گردنی، بعد از ناتوانی‌هایشان می‌توانند از رایانه برای کار و دسترسی به اینترنت استفاده کنند [۶].

HCI<sup>۲</sup> تعامل میان انسان و رایانه است که اجازه کنترل انسان بر محیط بیرونی و وسایل الکتریکی را فراهم می‌کند. حوزه HCI در ارگونومی و مهندسی عوامل انسانی بسیار مورد توجه است [۸]. بیوفیدبک فرایندی است که طی آن اطلاعات سیگنال‌های [۷]

<sup>4</sup> Game-based

<sup>5</sup> Efficiency

<sup>6</sup> Usability

<sup>1</sup> Activity daily living

<sup>2</sup> Human computer interface

<sup>3</sup> Electromyogram

## ۱. شرکت کنندگان

جامعه آماری مورد بررسی بیماران دارای ضایعات نخاعی گردنی مراجعه کننده به کلینیک ضایعات نخاعی تهران و دانشجویان دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی بودند. حجم نمونه ۲۰ شرکت کننده (۱۰ فرد دارای ضایعات نخاعی گردنی و ۱۰ فرد سالم) بود که به صورت دردسترس در ۴ گروه ۵ نفری قرار داده شدند. روش نمونه گیری در این پژوهش به صورت غیراحتمالی دردسترس بود. معیارهای ورود شرکت کنندگان شامل امضای فرم رضایت نامه برای شرکت در مطالعه، کسب نمره بیشتر از ۲۲ در آزمون کوتاه وضعیت ذهنی (MMSE<sup>1</sup>)، گذشت حداقل شش ماه از زمان آسیب نخاعی، اسپاستیسیته کمتر از ۳ در اندام فوقانی (مقیاس اشورث)<sup>۲</sup> و دامنه سنی شرکت ۲۰-۴۰ سال (۲۷±۵) بود. معیارهای خروج شرکت کنندگان نیز اختلال در روند کار و بی نظمی در طول جلسات و تمایل نداشتن به ادامه همکاری بود. همه کدهای اخلاقی ارائه شده 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، به منظور 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 شرکت کنندگان است. با قرارگیری الکترودها فعالیت الکتریکی حاصل از انقباض عضلانی دوسر بازویی هر دست ثبت شد. در این پژوهش، شرکت کنندگان با انقباض عضله دوسر بازویی دست غالب، حرکات (بالا، پایین، چپ و راست) نشانگر را در صفحه نمایش کنترل کردند. انقباض عضله دوسر بازویی دست دیگر شرکت کنندگان سبب تغییر عملکرد برای حرکات در صفحه نمایشگر رایانه شد. انقباض همزمان هر دو عضله دوسر بازویی هم به عنوان عمل کلیک کردن در صفحه نمایش رایانه تعریف شده بود. داده ها نیز پس از تبدیل به اعداد دیجیتال از طریق کابل به رایانه منتقل شدند [۱۵].

### □ طراحی نرم افزار بیوفیدبک EMG

طراحی نرم افزار EMG با استفاده از نرم افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۴ توسط شرکت توان دانش مهرسام انجام شد. در این نرم افزار، از هر ۲۰ شرکت کننده در جلسات اول، ششم و دوازدهم

(قبل، حین و بعد) ۴۸ تست از آموزش و کار با بیوفیدبک بازی گونه و بدون بازی گرفته می شد. برای رساندن نشانگر رایانه و حرکت آن در صفحه نمایش به کمک بیوفیدبک بازی گونه و بدون بازی، دایره های سبزرنگی به عنوان اهداف طراحی شدند. این دایره ها به طور 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 صفحه نمایشگر ظاهر شدند. شرکت کنندگان با حرکت دادن نشانگر رایانه باید روی دوایر سبزرنگ که به صورت تصادفی در جهات مختلف ظاهر می شدند کلیک می کردند. با انجام این کار، نرم افزار به صورت خودکار مقادیر عددی متغیر Through put را محاسبه می کرد. پس از کلیک روی دایره سبزرنگ، نشانگر رایانه به صورت خودکار وسط صفحه قرار گرفت. پژوهشگر مقادیر این متغیر را ثبت و در فرم مخصوص داده ها وارد کرد.

## ۳. ارزیابی عملکرد

عملکرد کنترل نشانگر رایانه با متغیر عملکردی ارزیابی شد؛

### □ متغیر Through put

برابر با شاخص سختی (ID) تقسیم بر زمان حرکت (MT) به سمت هدف مورد نظر است. Through put نیز نسبت میزان اطلاعات منتقل شده است. برای هر هدف مورد آزمایش افراد محاسبه می شد و میانگین، تلاقی همه عوامل (آزمایش ها، مکان و شاخص سختی) بود؛ به عبارت دیگر Through put برابر است با زمان صرف شده برای حرکت نشانگر به منظور رسیدن به هدف که سرعت و دقت را نشان می دهد و کارایی شرکت کنندگان را می سنجد.

$$\text{Through put} = \text{ID}/\text{MT} \text{ bits/s}$$

### □ Index of difficulty (ID): شاخص سختی برابر با

حرکت نشانگر به طرف یک هدف (دوایر سبزرنگ) در صفحه نمایش دوبعدی است و فرمول محاسبه آن عبارت است از:

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

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

### □ Movement time (MT): مدت زمانی که کاربران برای

حرکت دادن نشانگر رایانه سپری می کنند [۱۸-۱۶].

<sup>2</sup> Ashworth Scale

<sup>1</sup> Mini mental state examination

#### ۴. پرسشنامه SUS<sup>۱</sup>

کاربردپذیری یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفی است. همچنین بنا به تعریف سازمان ISO<sup>۲</sup> این مشخصه میزان کارایی، اثربخشی و رضایتمندی از یک محصول است که هر استفاده‌کننده خاص، در محیط ویژه‌ای، برای رسیدن به هدفی خاص از آن وسیله انتظار دارد. پرسشنامه 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 درجه 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 صفر تا چهار است. به منظور دستیابی به نمره رضایت فرد از سؤالات فرد یک واحد از امتیاز فرد، و برای سؤالات زوج امتیاز گزینه انتخابی از عدد ۵ کسر می‌شود. جمع این نمرات در ۲/۵ ضرب می‌شود و در نهایت نمره نهایی به دست می‌آید. نمره نهایی، عددی بین صفر تا ۱۰۰ است. امتیاز ۵۵ درصد یا بیشتر نشان‌دهنده رضایتمندی و کمتر از

۵۵ درصد نشان‌دهنده نبود رضایتمندی است. پایایی و روایی نسخه 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 عضله دوسر بازویی دست دیگر عملکرد ابزار کنترل شد؛ به این صورت که روشن شدن چراغ سبز بیوفیدبک نشان‌دهنده حرکت به طرف راست، چراغ قرمز حرکت به سمت چپ، چراغ سبز و قرمز روشن حرکت به طرف بالا و دو چراغ خاموش حرکت به طرف پایین نشانگر رایانه امکان‌پذیر است. برای کلیک کردن نیز شرکت‌کنندگان باید عضله 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

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

##### □ گام دوم

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

شرکت‌کنندگان هر دو دست خود را روی دسته صندلی قرار دادند. پژوهشگر نیز به عضله دوسر بازویی هر دست ۳ الکتروود (۲ عدد تفاضلی و ۱ مرجع) وصل کرد. با توجه به نوع

الکتروودگذاری، سیگنال EMG از عضلات دوسر بازویی هر دو دست شرکت‌کنندگان برای تعامل با نشانگر رایانه گرفته شد. ارتباط الکتروودها با رایانه از طریق گیرنده کابل رابط بود. بعد از تبدیل آنالوگ به دیجیتال این سیگنال‌ها، الگوی فعالیت عضلات به‌عنوان حرکات (بالا، پایین، راست و چپ و کلیک کردن) نشانگر در بازی یا صفحه‌نمایش تعبیر شد [۱۶].

<sup>۲</sup> International Organization for Standardization

<sup>۱</sup> System usability scale



شکل ۱. محل نصب الکترودها روی عضله دوسر بازویی شرکت کنندگان

حرکت نشانگر در صفحه نمایش حرکت دهند و تمرین و تکرار کنند. شرکت کنندگان باید ۳ روز در هفته و طی یک ماه در جلسات ۳۰ دقیقه‌ای از بیوفیدبک EMG یا بیوفیدبک بازی گونه استفاده می‌کردند (شکل ۲). در هر جلسه به شرکت کنندگان آموزش داده می‌شد کنترل نشانگر را تمرین کنند. همچنین آن‌ها به ازای هر ۱۵ دقیقه کار با بیوفیدبک EMG یا بیوفیدبک بازی گونه ۵ دقیقه استراحت می‌گرفتند [۱۸، ۱۶].

#### □ گام سوم

از شرکت کنندگان در هر گروه خواسته شد به کمک عضلات دوسر بازویی خود، نشانگر صفحه نمایش بیوفیدبک طراحی شده یا بازی خواسته شده را حرکت دهند. همچنین از آن‌ها خواسته شد همان‌طور که کنترل نشانگر رایانه را با عضلات به دست گرفته‌اند، دست خود را در جهات مشخص شده برای کنترل



شکل ۲. تصویر بیوفیدبک EMG (شرکت کنندگان باید نشانگر رایانه در این حاشیه سبز رنگ را حرکت می‌دادند).

چهل‌وهشت تست برای کارکردن با بیوفیدبک EMG و بازی گونه اجرا شد. تست به گونه‌ای طراحی شده بود که

#### □ گام چهارم

بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی گونه از شرکت کنندگان گرفته شد (شکل ۳).

شرکت کنندگان می‌بایست نشانگر را روی دایره سبز رنگ با اندازه و فاصله و جهت تصادفی قرار می‌دادند و در ناحیه دایره سبز رنگ کلیک می‌کردند. با این کار، زمان ثبت متوقف شد. ۴۸ تست در جلسه اول، ششم و دوازدهم پس از آموزش و کار کردن با سیستم

task number:23 W=100 D=225

200.767784119749



next

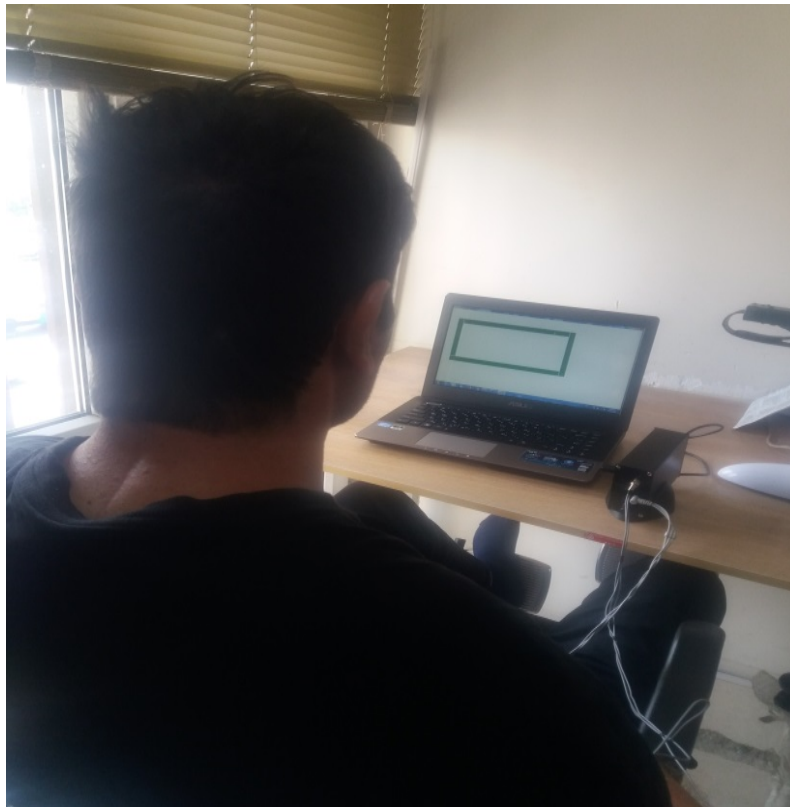
back

شکل ۳. صفحه نمایش تست (شرکت کنندگان باید نشانگر رایانه را به دایره سبز رنگ می‌رساندند و کلیک می‌کردند).

مرکز ثبت شد. برای جلوگیری از تأثیر خستگی عضلات شرکت کنندگان، پس از انجام ۱۸ تست، آن‌ها ۵ دقیقه استراحت می‌کردند (شکل ۴).

#### □ گام پنجم

داده‌های متغیر Through put شرکت کنندگان در هر مرحله از انجام تست (شامل مدت زمان انجام تست، دقت و سرعت شرکت کنندگان) با توجه به عرض دایره و فاصله آن از



شکل ۴. کار با بیوفیدبک EMG

## ۶. آنالیز آماری

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA) استفاده شد. برای توصیف داده‌ها نیز از شاخص‌های آماری مانند میانگین، انحراف معیار و آزمون‌های آماری مقایسه میانگین، Tukey، Shapiro-Wilk و اندازه‌گیری مکرر استفاده شد.

### یافته‌ها

داده‌ها از ۴ گروه ۵ نفری شرکت‌کنندگان در جلسه اول، ششم و دوازدهم، بعد از یک ماه کار و آموزش (هفته‌ای ۳ جلسه)

۳۰ دقیقه‌ای) با بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی‌گونه ثبت شد. نتایج نشان می‌دهد، میان مقادیر پرسشنامه کاربرپذیری ۴ گروه شرکت‌کننده اختلاف معنادار وجود دارد ( $P=0/018$ )؛ بنابراین با آزمون Tukey معناداری گروه‌ها در پرسشنامه 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 ( $P=0/028$ ). همچنین میان گروه بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه و سالم با بیوفیدبک EMG نیز اختلاف معنادار وجود داشت ( $P=0/049$ ).

جدول ۲. مقایسه معناداری میان ۴ گروه شرکت‌کننده در پرسشنامه SUS

P-value	اختلاف میانگین		
0/028	-11/000*	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	بیمار با بیوفیدبک EMG
0/991	-1/000	سالم با بیوفیدبک EMG	
0/207	-7/200	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	
0/028	11/000*	بیمار با بیوفیدبک EMG	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه
0/049	10/000*	سالم با بیوفیدبک EMG	
0/701	3/800	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	
0/991	1/000	بیمار با بیوفیدبک EMG	سالم با بیوفیدبک EMG
0/049	-10/000*	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	
0/319	-6/200	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	
0/207	7/200	بیمار با بیوفیدبک EMG	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه
0/701	-3/800	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	
0/319	6/200	سالم با بیوفیدبک EMG	

براساس جدول ۳، تأثیر زمان درون آزمودنی‌ها بر متغیر Through put معنادار ( $P<0/001$ ) بود. همچنین اثر زمان و گروه درون آزمودنی‌ها معنادار بود ( $P=0/022$ ).

برای بررسی معناداری میان مقادیر متغیر Through put در گروه‌های شرکت‌کننده در جلسه اول، جلسه ششم و جلسه دوازدهم، از آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد.

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

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F آماره	مقدار احتمال	مجذورات	توان آماری
درون آزمودنی‌ها							
زمان	۶۴۱۸۳۲/۴۳۳	۱/۳۵۳	۴۷۴۲۹۳/۵۷۰	۳۲/۱۵۸	0/000	0/۶۶۸	1/000

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F آماره	مقدار احتمال	مجذورات	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 نرمال بودن متغیر Through put به شرح زیر است (جدول ۴).

جدول ۴. تست آزمون Shapiro-Wilk نرمال بودن متغیر Through put

گروه	آمار آزمون	شرکت‌کنندگان هر گروه	مقدار احتمال
Through put (قبل)	۱	۵	۰/۲۰۸
	۲	۵	۰/۶۶۴
	۳	۵	۰/۹۶۸
	۴	۵	۰/۲۹۹
Through put (حین)	۱	۵	۰/۰۸۶
	۲	۵	۰/۵۱۴
	۳	۵	۰/۸۲۵
	۴	۵	۰/۲۹۲
Through put (بعد)	۱	۵	۰/۰۰۳
	۲	۵	۰/۱۰۲
	۳	۵	۰/۵۱۰
	۴	۵	۰/۵۱۸

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 ( $P=۰/۰۰۴$ ).

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

جدول ۵. مقایسه معناداری درون گروهی متغیر Through put

گروه	اختلاف میانگین	P-value
بیمار با بیوفیدبک EMG	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	۰/۱۰۰
	سالم با بیوفیدبک EMG	۰/۰۰۹
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۰/۰۰۴
بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	بیمار با بیوفیدبک EMG	۰/۱۰۰
	سالم با بیوفیدبک EMG	۰/۶۱۱
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۰/۳۹۴
سالم با بیوفیدبک EMG	بیمار با بیوفیدبک EMG	۰/۰۰۹
	بیمار با بیوفیدبک بازی‌گونه	۰/۶۱۱
	سالم با بیوفیدبک بازی‌گونه	۰/۹۸۰

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

سالم با بیوفیدبک بازی گونه

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

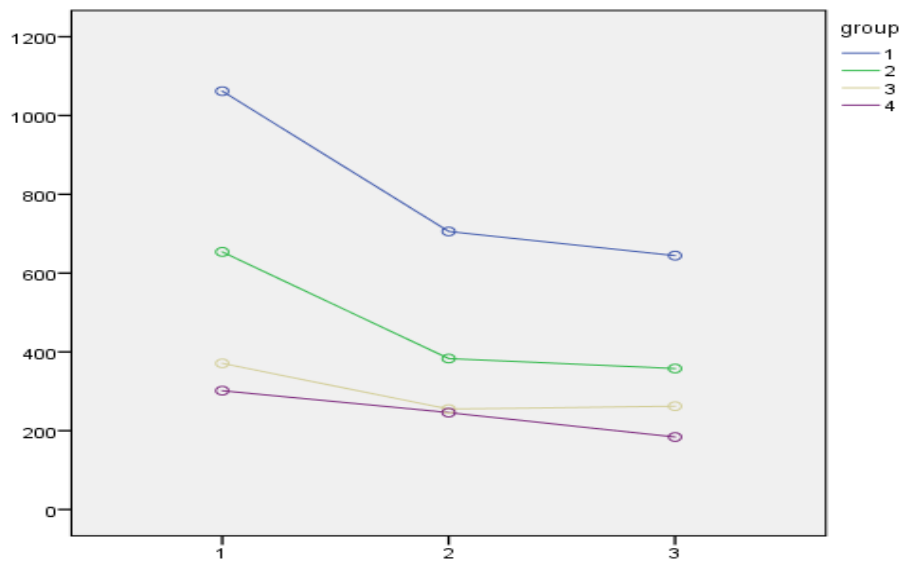
جدول ۶. میانگین و انحراف معیار متغیر Through put در ۴ گروه شرکت کننده

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

متغیر Through put در ۴ گروه شرکت کننده در جلسه اول، جلسه ششم و جلسه دوازدهم با استفاده از بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی گونه قابل مشاهده است.

نتایج نشان می‌دهد، میانگین کلی متغیر Through put در ۴ گروه کاهش یافته است؛ یعنی با گذشت زمان شرکت کنندگان کنترل بهتری بر نمایشگر رایانه داشتند. در شکل ۵، مقادیر





شکل ۵. مقایسه میانگین متغیر Through put در جلسات اول، ششم و دوازدهم ۴ گروه شرکت کننده

### بحث

نشان دهنده بیشترین آموزش و یادگیری حرکتی استفاده از بیوفیدبک EMG با بازی و بدون بازی، برای کنترل نشانگر رایانه در شش جلسه اول پژوهش بوده است. با توجه به میانگین عددی متغیر Through put می توان گفت، میزان تغییرات میان جلسات ششم تا دوازدهم در مقایسه با جلسات میان اول و ششم به طور قابل توجهی کمتر بوده است. شاید بتوان گفت به دلیل کنترل حرکتی ضعیف بیماران دارای ضایعات نخاعی میزان جابه جایی نشانگر رایانه ها بیشتر از شرکت کنندگان سالم بوده است؛ بنابراین می توان گفت بیماران دارای ضایعه نخاعی با استفاده از بیوفیدبک EMG بازی گونه حداکثر کنترل و عملکرد را به دست آورده اند. پیشنهاد می شود برای بهبود دقت و کنترل عضلانی دقیق تر بیماران ضایعه نخاعی از بیوفیدبک EMG بازی گونه استفاده شود. نتایج این پژوهش همسو با نتایج مطالعه Williams است.

با توجه به نتایج استنتاج شده از پرسشنامه کاربردپذیری SUS، هر دو گروه شرکت کننده در پژوهش، بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی گونه را کاربردپذیر می دانستند (رضایت بیش از ۵۵ درصد)؛ در صورتی که شرکت کنندگان بیمار و سالم استفاده از بیوفیدبک EMG بازی گونه را کاربردپذیرتر می دانستند (۷۵/۸۰ و ۷۲ درصد). همچنین بیوفیدبک EMG مبتنی بر بازی در افراد دارای ضایعات نخاعی گردنی از سایر گروه ها کاربردپذیرتر بود. پایین ترین کاربردپذیری در دو گروه بیمار و سالم با استفاده از بیوفیدبک EMG بود (۶۴/۳۰ و ۶۷/۶۰ درصد).

هدف این پژوهش، بررسی کارایی و کاربردپذیری بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی گونه در افراد دارای ضایعات نخاعی و سالم بود. نتایج پژوهش نشان می دهد، پس از چندین جلسه (۳ جلسه ۳۰ دقیقه ای به مدت ۱ ماه) آموزش و کار در متغیر Through put شرکت کنندگان کاهش میانگین مقادیر با گذشت زمان و افزایش تعداد جلسات مشاهده شد؛ بدین معنا که شرکت کنندگان استفاده کننده از سیستم تعاملی کنترل ورودی رایانه، در سرعت واکنش و میزان جابه جایی نشانگر رایانه در صفحه نمایش، به کارایی دست یافتند؛ بنابراین هرچه زمان بیشتری از واسط انسان رایانه استفاده شود، شرکت کنندگان کارایی و عملکرد بهتری دارند.

با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت، میانگین مقدار متغیر Through put در جلسه دوازدهم در مقایسه با جلسه اول در هر ۴ گروه کاهش یافته است. میانگین نهایی متغیر Through put در گروه های بیوفیدبک بازی گونه شرکت کنندگان سالم و بیمار از دو گروه بیوفیدبک EMG بدون بازی کمتر بوده است. این متغیر در دو گروه استفاده کننده از بیوفیدبک بازی گونه کارایی بهتری کسب کرده است. حداکثر این کاهش در جلسات اول تا ششم رخ داده است، اما از جلسه ششم تا جلسه دوازدهم تغییرات متغیر با شدت کمتری صورت گرفته است. میانگین متغیر Through put که کارایی سرعت و دقت شرکت کنندگان را بررسی می کند، به شکلی قابل توجه در شرکت کنندگان سالم و بیمار با استفاده از بیوفیدبک بازی گونه کاهش عددی داشته است.

حداکثر شیب تغییرات میان جلسه اول تا ششم در شرکت کنندگان سالم و دارای SCI ایجاد شده است. این موضوع

## نتیجه گیری

استفاده از بیوفیدبک EMG بازی گونه تلاش و استفاده بیشتری در شرکت کنندگان سالم و دارای ضایعه نخاعی گردنی قابل مشاهده بود. شرکت کنندگان نیز استفاده از این نوع بیوفیدبک را کاربردپذیرتر بیان کردند. می توان کارایی و کاربردپذیری استفاده از کنترل نشانگر رایانه ها، ویلچر و سایر وسایل مشابه در افراد با ناتوانی در دست ها را با استفاده از بیوفیدبک EMG بازی گونه افزایش داد. پیشنهاد می شود در سایر تعاملات حوزه HCI از بازی برای افزایش کارایی و کاربردپذیری استفاده شود.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از همه شرکت کنندگان اعلام می کنند. همچنین تمام کدهای اخلاقی ارائه شده از سوی دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی مطابق با کد IR.USWR.REC.1397.044 در این تحقیق رعایت شد.

## تعارض منافع

بین نویسندگان هیچ گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

## منابع مالی

منابع مالی این مطالعه توسط نویسندگان تامین شده است.

در مقایسه با سایر سیستم های HCI، استفاده از بیوفیدبک EMG برای طیف بیشتری از افراد قابل استفاده است. کار با سیستم بیوفیدبک EMG از سایر سیستم های تعاملی مانند سیستم تعاملی ردیاب سر و چشمی آسان تر و از نظر اقتصادی به صرفه تر است. سیستم بیوفیدبک EMG و سیستم بیوفیدبک بازی گونه بعد از چندین جلسه کار و آموزش قابل استفاده است. براساس نتایج کاربردپذیری شرکت کنندگان می توان گفت، هر دو واسط انسان رایانه بیوفیدبک EMG و بیوفیدبک بازی گونه، کاربردپذیری دارند. به دلیل کنترل عضلانی دقیق تر دو گروه افراد سالم، مقادیر عددی متغیر اندازه گیری شده در مجموع کمتر نشان داده شد. کار با این سیستم تعاملی برای افراد دارای SCI گردنی به علت کنترل حرکتی ضعیف تر 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 می شود این موضوع را با آموزش و استفاده بیشتر از بیوفیدبک بازی گونه بتوانند جبران کنند. با گذشت زمان و استفاده بیشتر افراد SCI گردنی از واسط انسان رایانه، کارایی و کاربردپذیری این تعامل برای این افراد به طور قابل توجهی بهبود می یابد.

ترکیب بیوفیدبک EMG با بازی سبب افزایش انگیزه و هدفمند شدن کنترل نشانگر رایانه در شرکت کنندگان شد. با

## References

- 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]
- 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]
- Tanimoto Y, Rokumyo Y, Furusawa K, Tokuhira 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]
- 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]
- 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]
- 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]
- 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]
- Barreto A, Scargle S, Adjouadi M. A practical EMG-based human-computer interface for users with motor disabilities. 2000. [DOI:10.1145/569270.569272]
- 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] [PMID] [PMCID]
10. Bhandari R, Parnandi A, Shipp E, Ahmed B, Gutierrez-Osuna R. Music-based respiratory biofeedback in visually-demanding tasks. In NIME 2015 Jan 1.
  11. Neblett R. Surface electromyographic (SEMG) biofeedback for chronic low back pain. In Healthcare 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. In AIP Conference Proceedings 2020 Apr 13 (Vol. 2217, No. 1, p. 030039). AIP Publishing LLC.
  14. Borish CN, Bertuccio 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. In 2016 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 an assistive computer interface by SEMG for individuals with spinal cord injuries. In 2011 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. In 2017 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.
  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, FARABI SR. Usability evaluation of hospital information systems in hospitals affiliated with Mashhad University of Medical Sciences, Iran. 2012
  22. Dianat I, Ghanbari Z, Asghari Jafarabadi M. Psychometric properties of the Persian language version of the system usability scale. Health Promot Perspect. 2014;4(1):82.