

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/355170618>

Optimizing Video Games in Neurorehabilitation

Article · October 2021

CITATIONS

3

READS

336

2 authors, including:



[Daniela Lubenova](#)

National Sports Academy Sofia

73 PUBLICATIONS 99 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Optimizing Video Games in Neurorehabilitation

D. Lyubenova¹, N. Lyubenov²

¹Department "Physiotherapy and Rehabilitation", National Sports Academy "Vassil Levski",

²SITEL, Information Technologies – Sofia, Bulgaria

Key words:

neurorehabilitation,
serious games,
video games,
virtual reality,
3D camera

This review focuses on the use, benefits and design principles of video games for rehabilitation.

A new video game software we have created is presented for practical application. A 3D camera with an extremely accurate sensor is used to capture the player's movements. These video games were created on Unity platform using C#. NuiTrack libraries allow the connection of the video games to the camera. They can be installed on any computer device with Windows operating system. The player is required to make a specific, purposeful movement that is captured by the camera and controls the game. Their main advantage is the ability to provoke a high level of interest and motivation over an extended period of time. They display on the screen the range of movement (in degrees) of the performed motion throughout the game. They are safe and affordable for prolonged use at home, turning exercise therapy into an enjoyable experience and thus increasing user interest. They are completely transported into the game as they can play sitting or standing, depending on the available options. Feedback of the result is given via digital and visual cues. Scores can be saved via an available user profile and trends monitored over time. They meet the basic principles for designing video games for rehabilitation, namely, to be meaningful and provide the opportunity to increase the level of difficulty so that they can be challenging and tailored to the capabilities of the player. Furthermore, they are understandable and can be implemented with specific therapeutic goals in mind. There is also a limitation in their application at present, in regards to restoring fine hand movements and foot movements.

Video games are suitable for application in neurorehabilitation as they stimulate neuroplasticity – the brain's ability to change adaptively in response to significant changes in the body and environment. They comply with all the principles of motor learning: active participation by the user, possibility of frequent and continuous application, purposefulness and variability of performance. They are suitable for use with healthy people and patients with central and peripheral nervous system disorders.

Оптимизиране на видеоигрите в неврорехабилитацията

Д. Любенова¹, Н. Любенов²

¹Категория „Кинезитерапия и рехабилитация“, Национална спортна академия „Васил Левски“,

²SITEL, Информационни технологии – София, България

Ключови думи:

видеоигри,
3D камера,
неврорехабилитация,
сериозни игри

Обзорът е посветен на използването, предимствата и принципите за проектиране на видеоигри за рехабилитация.

Представен е нов софтуер за видеоигри, създаден от нас, който е предназначен за приложение в тази област. За улавяне на движенията на играещия се използва 3D камера с изключително точен сензор. Видеоигрите са направени на Unity платформа, използвайки C#. NuiTrack библиотеките позволяват връзка на видеоигрите с камерата. Те могат да бъдат инсталирани на всяко компютърно устройство, което има оперативна програма Windows. Изисква се играещият да извърши определено, целенасочено движение, което се улавя от камера и контролира играта. Основно тяхно предимство е възможността да се провокира високо ниво на интерес и мотивация за продължителен период от време. Отчитат се обема на движение (в градуси) на извършващото се движение, изобразено на екрана по време на цялата игра. Безопасни и достъпни са за продължително приложение в домашни условия като превръщат терапията чрез физически упражнения в приятно преживяване и по този начин увеличават интереса на потребителите. Те изцяло се пренасят в играта като могат да играят седнали или

прави, в зависимост от наличните възможности. Получава се обратна връзка за постигнатия резултат чрез цифров и зрителен сигнал. Резултатите могат да се запазват чрез наличен потребителски профил и да се наблюдават тенденциите във времето. Отговарят на основните принципи за проектиране на видеоигри за рехабилитация, а именно да имат смисъл и да осигуряват възможност за увеличаване нивото на трудност, така че да бъдат предизвикателство, съобразено с възможностите на играещия. Освен това те са разбираеми и могат да се приложат с конкретни терапевтични цели. Съществува и ограничение в приложението им към момента, а именно за възстановяване на фините движения на ръката и движенията на стъпалото.

Видеоигрите са подходящи за приложение в неврореабилитацията, тъй като стимулират невропластичността – възможността на мозъка да се променя адаптивно при значими промени в организма и околната среда. Отговарят на всички принципи на двигателното обучение, а именно активно участие от страна на потребителя, възможност за често и продължително приложение, целенасоченост и вариабилност на изпълнението. Подходящи са за приложение при здрави хора и болни с увреди на централната и периферната нервна система.

Video games are rapidly growing as a gaming industry and as an area of research. There has been an exponential growth in the number of research papers published in the field, indicating the growing interest of the research community in their application. The video game market has grown significantly in recent years, reaching a value of billions of euros [16, 23]. The term “serious games” is widely used in the literature to refer to a special type of games that have an entertainment element combined with a practical dimension [3]. Their purpose is to convey some message or contribution: knowledge, skill or experience to the player. They have various application areas including education, advertising, cultural heritage, interpersonal communication, and healthcare. In healthcare, there are four categories: health monitoring, detection and treatment, therapeutic education, prevention, and rehabilitation [14]. One of the health areas where vision has a marked positive impact is rehabilitation.

Advantages of Video Games in Rehabilitation

The use of video games for rehabilitation has been shown to be a better solution for stimulating motivation and avoiding the adverse effects resulting from the repetitiveness of exercise in traditional movement therapies [13, 22, 24]. They can be an interesting and effective way of prevention and treatment [14] as they provide the opportunity to create a rich, graphical, multifunctional virtual environment that can be designed to make those using it more motivated, engaged and immersed in the rehabilitation process [29].

Video games for rehabilitation can provide a safe and adaptive learning experience that is tailored to the interests, physical condition and abilities of a specific individual, i.e. provide

Видеоигрите се развиват бързо като игрална индустрия и като област на научни изследвания. Налице е експоненциален ръст в броя на научните статии, публикувани в областта, което показва нарастването на интереса на изследователската общност към тяхното приложение. Поради тази причина пазарът на видеоигри през последните години нарастна сериозно и достигна стойност от милиарди евро [16, 23]. В литературата широко се използва терминът „сериозни игри“, с който се обозначава специален вид игри, при които има развлекателен елемент, съчетан с практическо измерение [3]. Тяхната цел е да предадат някакво послание или принос, било то знания, умения или опит на играча. Те имат различни области на приложение, включително образование, реклама, културно наследство, междупersonална комуникация и здравеопазване. В здравеопазването има четири категории: мониторинг на здравето, откриване и лечение, терапевтично образование, профилактика и рехабилитация [14]. Една от здравните области, където видеоигрите имат подчертано положително въздействие е рехабилитацията.

Предимства на видеоигрите в рехабилитацията

Използването на видеоигри за рехабилитация е доказано по-добро решение за стимулиране на мотивация и избягване на неблагоприятните ефекти, произтичащи от повторемостта на упражненията в традиционните двигателни терапии [13, 22, 24]. Те могат да бъдат интересен и ефективен начин за профилактика и лечение [14], тъй като осигуряват възможност за създаване на богата, графична, многофункционална виртуална среда, която може да бъде проектирана така, че използващите я

the ability to adapt the game to the individual capabilities of the player. Another advantage is the fact that the user's performance can be monitored and analyzed over a long period of time [24]. They can be administered at home, which is convenient and saves the cost of travel and rehabilitation in inpatient and outpatient settings. They provide the ability to remotely track and save position and performance data in real time. The data have a graphical representation to aid interpretation of the overall information. This can provide a high degree of control by the therapist during performance and adjust the settings of the program if necessary. The use of a 3D camera provides freedom and convenience of movement as there is no need to fix sensors via wires or gloves, which can be problematic (due to inability to insert, turn on or off) for users with physical disabilities [4].

Principles in the Design of Video Games for Rehabilitation

Video games for rehabilitation are a rapidly growing area of research due to the diversity of their application areas and the ability to meet the two game design principles that have particular relevance to rehabilitation: meaningful and challenging play [5, 27].

For a game to be meaningful, feedback informing of the outcome of the game is necessary. This allows the player to measure their progress at the moment and their continuous improvement over time. Auditory, visual, or verbal cues can be used to indicate correct or incorrect actions or responses. Other forms of feedback are numerical scores, progress bars, vibration, force, and controller sound. This way, users are aware when they are moving their limbs sufficiently by seeing the degrees of movement presented on the screen. Thus, the acquisition of new skills is associated with satisfying stimuli that can lead to increased motivation and enjoyment, creating a greater desire to accomplish specific tasks and achieve specific goals. Feedback should clearly indicate when the user's actions lead to good interaction with the game element. To this end, it is possible to make the element light up, change colour or play an audible sound. This is important to avoid frustration and demotivation [25, 27].

The other important condition is that the game is challenging, interesting, with possibilities to increase its difficulty. Initially the level of challenge is low to match the player's respective ability/familiarity with the game. The more he/she plays, the more their ability and knowledge increases and so the player requires a higher level of challenge to continue to enjoy the game. If the

да станат по-мотивирани, ангажирани и потопени в рехабилитационния процес [29].

Видеоигрите за рехабилитация могат да осигурят безопасно и адаптивно обучение, съобразено с интересите, физическото състояние и способностите на конкретен човек, т.е. осигуряват възможност за адаптация на играта към индивидуалните възможности на играещия. Друго предимство е фактът, че ефективността на потребителя може да бъде наблюдавана и анализирана продължително време [24]. Могат да се прилагат в домашни условия, което е удобно и спестява разходите за пътуване и рехабилитация в клинични и извънклинични условия. Те осигуряват възможност за дистанционно проследяване и запазване на данните за позицията и постигнатия резултат в реално време. Данните имат графично представяне за по-лесно възприемане на цялостната информация. Това може да осигури висока степен на контрол от страна на терапевта по време на изпълнението и при необходимост да коригира зададената програма. Използването на 3D камера осигурява свобода и удобство на извършваните движения, тъй като не е необходима фиксация на сензори чрез проводници или ръкавици, което може да бъде проблемно (поради невъзможност за поставяне, включване или изключване) за потребители с физически увреждания [4].

Принципи при проектирането на видеоигрите за рехабилитация

Видеоигрите за рехабилитация са бързо нарастваща област на изследване, поради разнообразието на областите на приложение и възможността да отговарят на двата принципа на игровия дизайн, които имат специално значение за рехабилитацията, а именно: смислена и предизвикателна игра [5, 27].

За да бъде смислена една игра е необходима обратна връзка, информираща за резултата от играта. Това позволява на играча да измерва напредъка си в момента или прогресивното подобрение във времето. За целта могат да се използват звукови, визуални или вербални сигнали за означаване на правилни или неправилни действия или отговори. Други форми на обратна връзка са числови резултати, ленти за напредъка, вибрация, сила и звук на контролера. По този начин потребителите са наясно, когато движат достътъчно крайниците си, чрез отчитане на градусите и представянето им на екрана. Така придобиването на нови умения е свързано с удовлетворяващи стимули, които могат да доведат до повишена мотивация и удоволствие, създаващо по-голямо желание за извършване на конкретни задачи и постигане

game is too difficult for the player, either due to lack of ability or poor feedback, he/she may get frustrated and quit. Similarly, if the game is not interesting enough, the player may find it boring. Therefore, games should be designed to provide the freedom to increase its complexity as the player progresses. To this end, different difficulty levels that get more complex as the player progresses are made available. So each successive level builds on new skills and refines existing ones, while maintaining player's interest and creating enjoyment. Games are usually harder when the pace of the game is faster (the player has less time to react) and vice versa. Another important element is dynamically adapting the difficulty of the game to the individual capabilities of the user. This requires analysing his/her capabilities during the game and setting appropriate parameters to dynamically change to make the game easier or harder. It is necessary to assess the user's motor and cognitive capabilities beforehand and set specific tasks which need to be solved that become more complex over time. In rehabilitation, games that require synchronization of left and right hand movement are preferred: one hand can hold a game element while the other hand interacts with it [6, 25].

It is necessary that video games are designed for long-term use so that results can be maintained and trends monitored [16, 27].

Overview of the Application of Video Games for Rehabilitation

A variety of video games have been used to provide realistic experiences close to everyday environments (Table 1) [5, 27].

Commercially available video game software and console-based platforms for motor rehabilitation are widely used in practice [11, 15, 19, 21]. They arouse interest in rehabilitation settings but are primarily used for prophylactic purposes. A twelve-week study of their use for falls prevention in older adults concluded that games were used with greater interest compared to traditional rehabilitation [26]. They are relatively inexpensive and accessible to most people. The main difficulty in using them is the need for help to complete the games, which limits the possibility of home application. A significant disadvantage is the inability to adapt the difficulty level of the game to individual motor limitations. In most cases, the pace of the game is too fast for stroke patients [9, 10, 19, 20, 21, 30]. A study on the application of video games using a home video game console Xbox 360 with standard display technology in elderly people proves that with appropriate selection of computer games, it

на определени цели. Обратната връзка трябва ясно да показва кога действията на потребителя водят до добро взаимодействие с игралния елемент. За целта е възможно елементът да светва, да променя цвета си или да възпроизвежда звук. Това е важно, за да не се стига до разочарование и демотивация [25, 27].

Другото важно условие е играта да е предизвикателна, интересна, с възможности за увеличаване на трудността. Първоначално нивото на предизвикателство е ниско, за да отговори на съответната способност/познаване на играта от страна на играча. Колкото повече той играе, толкова повече неговите умения и познания се увеличават и така играчът изисква по-високо ниво на предизвикателство, за да продължи да се наслаждава на играта. Ако играта е твърде трудна за играча, поради липса на способност или лоша обратна връзка, той може да се разочарова и да се откаже. Ако играта не е достатъчно интересна, на играча може да му е скучно. Ето защо игрите трябва да са проектирани така, че да се осигурява възможност за усложняване с напредването им. За целта се прилагат нива на трудност, които при преминаване се усложняват. Така всяко следващо ниво надгражда нови умения и усъвършенства съществуващите, при поддържане на интереса и създаване на удоволствие на играча. Обикновено игрите са по-трудни, когато темпото на играта е по-бързо (играчът има по-малко време да реагира) и обратно. Друг важен елемент е динамичното адаптиране на трудността на играта към индивидуалните възможности на потребителя. Това изисква анализиране на възможностите му по време на играта и задаване на подходящи параметри, които динамично да се променят, за да стане играта по-лесна или по-трудна. Необходимо е предварително оценяване на двигателните и когнитивните възможности на потребителя и поставяне на конкретни задачи за решаване, които да се усложняват във времето. В рехабилитацията се предпочитат игри, които изискват синхронизация на движение на лява и дясна ръка: едната ръка може да държи игрален елемент, докато другата взаимодейства с него [6, 25].

Необходимо е при продължително приложение видеоигрите да са разработени така, че резултатите да могат да бъдат запазени и да се наблюдават тенденциите [16, 27].

Преглед на приложението на видеоигрите за рехабилитация

Използват се различни видеоигри, които предоставят реалистични преживявания, близки до ежедневието среда (табл. 1) [5, 27].

Table 1. Video games in rehabilitation
Таблица 1. Видеоигри в рехабилитацията

Type / Вид	Advantages / Предимства	Disadvantages / Недостатъци
Commercial games for console platforms / Търговски игри за конзолни платформи	Effortless, affordable for mass use. Recreational, suitable for prophylaxis / Евтини, достъпни за масова употреба. Развлекателни, подходящи за профилактика	Inability to target application according to the individual capabilities of the player. Principles of play design for rehabilitation not followed / Невъзможност за целенасочено приложение, съобразено с индивидуалните възможности на играещия. Не са спазени принципите на игралния дизайн за рехабилитация
Video games using sensors (glove or marker) to track upper limb movement in the real world (vimeo.com/4279126) / Видеоигри, които използват сензори (ръкавица или маркер) за проследяване на движението на горните крайници в реалния свят (vimeo.com/4279126)	Suitable for restoring upper limb function through purposeful movements. The principles of play design for rehabilitation are respected / Подходящи за възстановяване на функциите на горния крайник чрез целенасочени движения. Спазени са принципите на игралния дизайн за рехабилитация	Cannot be implemented at home as they use virtual reality hardware. Only suitable for the upper limb / Не могат да се прилагат в домашни условия, тъй като използват виртуална реалност хардуер. Подходящи са само за горния крайник
Video games for rehabilitation using a 3D camera / Видеоигри за рехабилитация с използване на 3D камера	Suitable for home rehabilitation. Report the volume of movement (in degrees). Applicable to upper and lower limbs when performing purposeful movements tailored to the individual capabilities of the player. Provide freedom of movement as there are no sensors or cables. Create and save an user profile / Подходящи за домашна рехабилитация. Отчитат обема на движение (в градуси). Приложими за горни и долни крайници при изпълнение на целенасочени движения, съобразени с индивидуалните възможности на играещия. Осигуряват свобода на движенията, тъй като няма сензори и кабели. Създават и запазват потребителски профил	No audible feedback. The last few scores are not displayed on the screen. Cannot be played with both hands and movements crossing the midline. No adaptive mechanism to automatically change the difficulty of the game (move to the next level) / Няма звукова обратна връзка. На екрана не се изобразяват последните няколко резултата. Не може да се играе с двете ръце и движенията да преминават средната линия. Липсва адаптивен механизъм за автоматична промяна в трудностите на играта (преминаване в следващо ниво)

is possible to achieve positive effects on dynamic postural control, functional abilities and avoidance of cognitive decline [12]. Similar data are indicated by the study of Lohse et al. (2014), who found positive effects in cognitive, motor functions and skills in various health problems, including stimulation of neuroplasticity [8, 17]. Nintendo games (Nintendo Wii – via sensors with wires in the hands, Dance Dance Revolution – sensors on a platform for the feet) are available for purchase and use, and are primarily used for prophylactic purposes to influence balance abilities in healthy individuals. The application of upper limb video games (Sony EyeToy – via camera) in healthy people and patients with stroke, multiple sclerosis and Parkinson's disease is an effective therapy that creates joy and increases the mood of the players [5, 18, 19, 20].

В практиката широко се използват търговски наличен софтуер за видеоигри и конзолни платформи за двигателна рехабилитация [11, 15, 19, 21]. Те предизвикат интерес в рехабилитационни условия, но се използват преди всичко с профилактична цел. Дванадесет-седмично проучване за използването им с цел профилактика на паданията при възрастни хора стига до заключението, че игрите се използват с по-голям интерес в сравнение с традиционната рехабилитация [26]. Те са сравнително евтини и достъпни за повечето хора. Основната трудност при използването им е необходимостта от помощ за завършване на игрите, което ограничава възможността за домашно приложение. Съществен недостатък е невъзможността да се адаптира нивото на трудност на играта към индивидуалните двигателни ограничения. В по-

An advance in rehabilitation marks the development of video games that use sensors in the form of a glove or marker to track upper limb movement in the real world (<https://vimeo.com/4279126>) [11]. Tasks have been designed to mimic real-world functions such as reaching, grasping, moving and releasing various objects. These games use virtual reality hardware and are difficult to implement at home. The games are designed to encourage gross hand movements only. These games are designed taking into account the game design principles described above [7, 9, 10, 28].

Development and Approbation of Software for Rehabilitation Video Games

The video games we have developed use a 3D camera to capture the player's movements with an extremely accurate sensor. These video games are created on the Unity platform using c#. NuiTrack libraries allow the video games to be linked to the camera. They can be installed on any computer device that has a Windows operating system. They are suitable for home rehabilitation since only a computer and 3D camera are required, which makes them financially affordable for mass use. The degrees of movement performed can be seen displayed on the screen to allow constant tracking by the player. They are suitable for influencing active movements and coordination of the upper and lower limbs. Their performance in the upright position is suitable for improving balance and gait, related to the prevention of falls in the elderly. There is no need to use gloves or sensors, which facilitates the execution of movements, subject to the above design principles.

The ability to maintain user profiles is provided. These contain information about the user such as their name, skill level (difficulty), duration of play and results of different sessions, target value, number of positions and joint range of motion (in degrees) (fig. 1, 2). This helps the user to evaluate his own progress through multiple sessions over a long period of time and encourages him to improve the score.

The initial skill setting can be set by a therapist to allow an appropriate level of challenge according to impairment. Difficulty is increased by changing the speed at which the ball is fed to catch in one game and the appearance of obstacles to overcome in the other. This is essential to maintain an appropriate level of challenge. It is important that the player stands (or sits) at the same distance from the camera each time he/she plays and that the upper or lower limbs are placed perpendicularly to the

вечето случаи темпото на игра е твърде бързо за болните с мозъчен инсулт [9, 10, 19, 20, 21, 30]. Проучване относно приложението на видеоигри, използващи домашна конзола за видеоигри Xbox 360 със стандартна технология на дисплея при възрастни хора доказва, че при подходящ подбор на компютърни игри, е възможно постигане на положителен ефект върху динамичния постурален контрол, функционалните способности и избягване на когнитивния спад [12]. Подобни данни сочи проучването на Lohse и сътр. (2014), които установяват положителен ефект в когнитивните и двигателните функции и умения при различни здравословни проблеми, включително стимулиране на невропластичността [8, 17]. Достъпни за закупуване и използване са Нинтендо игрите (Nintendo Wii – чрез сензори с проводници в ръцете, Dance dance revolution – сензори на платформа за стъпалата), които се използват преди всичко с профилактична цел за повлияване на равновесните възможности при здрави хора. Приложението на видеоигрите за горни крайници (Sony EyeToy – чрез камера) при здрави хора и болни с мозъчен инсулт, множествена склероза и Паркинсонова болест е ефективна терапия, която създава радост и повишава настроението на играещите [5, 18, 19, 20].

Напредък в рехабилитацията бележи разработването на видеоигри, които използват сензори под формата на ръкавица или маркер за проследяване на движението на горните крайници в реалния свят (<https://vimeo.com/4279126>) [11]. Проектирани са задачи за имитиране на функции от реалния свят като достигане, хващане, преместване и освобождаване на различни предмети. Тези игри използват виртуална реалност хардуер и трудно могат да се приложат в домашни условия. Игрите са предназначени да насърчават грубите движения само на ръката. Тези игри са проектирани, като са взети предвид гореописаните принципи на игралния дизайн [7, 9, 10, 28].

Разработване и апробация на софтуер за видеоигри за рехабилитация

Разработените от нас видеоигри използват 3D камера за улавяне на движенията на играещия, с изключително точен сензор. Видеоигрите са направени на Unity платформа, използвайки c#. NuiTrack библиотеките позволяват връзка на видеоигрите с камерата. Те могат да бъдат инсталирани на всяко компютърно устройство, което има оперативна програма Windows. Подходящи са за домашна рехабилитация, тъй като е необходим компютър и 3D камера, което финансово е достъпно за масо-

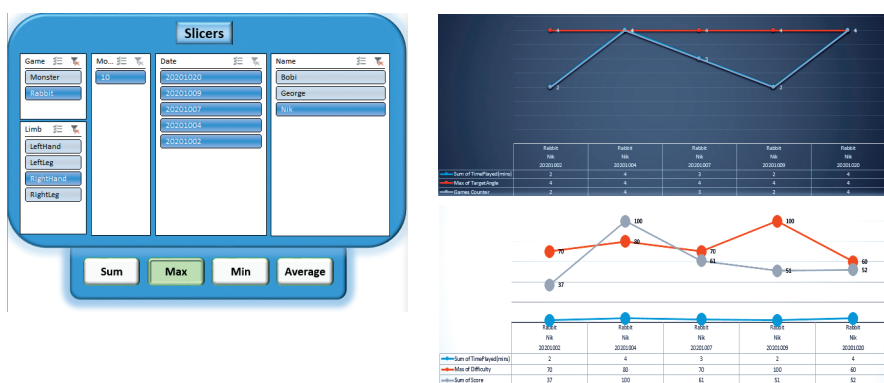


Fig. 1. User profile of the game “Ball Catching” including name, date, left or right limb and graphical representation for each day and over time of the total game duration for the day (min), the maximum difficulty (speed of execution in steps from 10 to 100), the total score (number of points), the maximum difficulty reached by the player and the target one.

Фиг. 1. Потребителски профил на играта „Хващане на топка“, включващ име, дата, ляв или десен крайник и графично представяне за всеки ден и във времето на общата продължителност на игра за деня (min), максималната трудност (скоростта на изпълнение в степени от 10 до 100), общия резултат (брой точки), максималната достигната трудност от играча и целевата такава.

camera so that the three joints (shoulder, elbow and wrist joints – for the upper limb; hip, knee and ankle joints – for the lower limb) are properly differentiated from the camera.

We have developed and approbated several rehabilitation video games.

The first game “Catching the Ball” was developed to rehabilitate the upper extremity by performing movements in the shoulder joint (abduction and adduction/flexion and extension).

The player's name is entered and the specific parameters of the game are set according to individual capabilities. The player stands in front of the camera at a sufficient distance to fix the three joints of the upper limb. If the three points are in the same plane, i.e. the end position of the indicated movements, the camera does not distinguish between them and does not reflect the

ва употреба. Могат да бъдат отчетени градусите на извършеното движение, което се изобразява на екрана за постоянно проследяване от играеция. Подходящи са за повлияване на активните движения и координацията, освен на горните и на долните крайници. Изпълнението им в право положение е подходящо за повишаване на равновесните възможности и походката, свързано с профилактика на паданията при възрастни хора. Не е необходимо използване на ръкавици или сензори, което улеснява изпълнението на движенията, при спазване на горепосочените принципи за разработване.

Осигурена е възможност за поддържане на потребителски профили. Те съдържат информация за потребителя като името му, нивото на умения (трудността), продължителността на играта и резултатите от различните

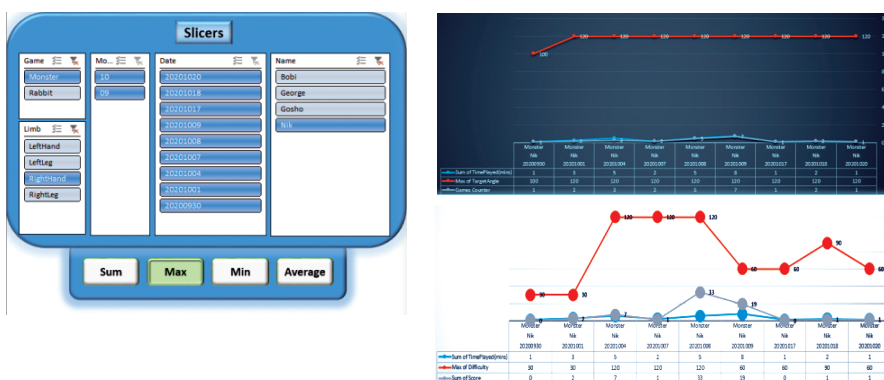


Fig. 2. User profile of the game “Avoiding Danger”, including name, date, left or right limb, and graphical representation for each day and over time of the total game duration for the day (min), the maximum difficulty (speed of execution in steps from 10 to 120), the total score (number of points), the maximum difficulty reached by the player and the target one.

Фиг. 2. Потребителски профил на играта „Избягване на опасности“, включващ име, дата, ляв или десен крайник и графично представяне за всеки ден и във времето на общата продължителност на игра за деня (min), максималната трудност (скоростта на изпълнение в степени от 10 до 120), общия резултат (брой точки), максималната достигната трудност от играча и целевата такава.

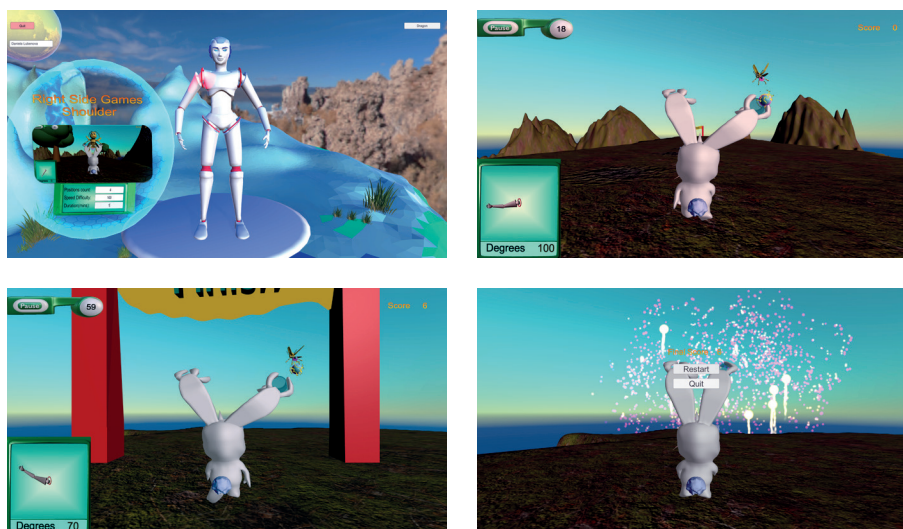


Fig. 3. The game "Catching the ball", with initial position assignment, difficulty (determined by speed of execution) and duration.

Фиг. 3. Играта „Хващане на топка“, с начално задаване на позиции, трудност (определена от скоростта на изпълнение) и продължителност.

movement made. When performing movements in the sagittal or frontal plane, the rabbit moves the same ear of the moving arm according to the selected parameters and captures the sent ball (fig. 3, 4).

Difficulty can be controlled by setting the number of catching positions (from 2 to 4), session duration, and execution speed (from 10 to 100). If the player catches the ball at the right time he gets a point, and a higher score is associated with better performance. It is displayed in the middle of the screen and is visible to the player. The degrees of flexion/abduction at the shoulder joint and the current score are also displayed on the screen.

The second game "Avoiding Danger" was developed for upper and lower extremity rehabilitation. There are two performance variations (fig. 5), performance with flexion/extension at the elbow joint and with flexion/extension at the hip joint.

The hazards appear on the screen at random positions (moving forward on the floor or in

сесии, таргетната стойност, броя на позициите и обема на движение в ставите (в градуси) (фиг. 1, 2). Това помага на потребителя да оцени собствения си напредък чрез множество сесии за дълъг период от време и го насърчава към подобряване на резултата.

Първоначалната настройка на уменията може да бъде зададена от терапевт, за да позволи подходящо ниво на предизвикателство, съобразно увреждането. Трудността се увеличава чрез промяна на скоростта, с която се подава топката за улавяне в едната игра и появата на препятствия за преодоляване в другата. Това е съществено за поддържане на подходящо ниво на предизвикателство. Важно е играчът да стои (или седи) на същото разстояние от камерата всеки път, когато играе и горния или долния крайник да е поставен перпендикулярно на камерата, така че трите стави (раменна, лакътна и гъривена – за горния крайник; тазобедрена, колянна и глезенна – за долния) да се разграничават от камерата.

Ние разработихме и апробирахме няколко видеоигри за рехабилитация чрез 3D камера.

Първата игра „Хващане на топка“ е разработена за рехабилитация на горния крайник чрез извършване на движения в раменната става (абдукция и аддукция/флексия и екстензия).

Вписва се името на играча и се задават конкретните параметри на играта, съобразно индивидуалните възможности. Играчът застава пред камерата на достатъчно разстояние, така че да се фиксират трите стави на горния крайник. Ако трите точки са в една равнина, т.е. крайно положение на посочените движения, камерата не ги различава и не отраз-

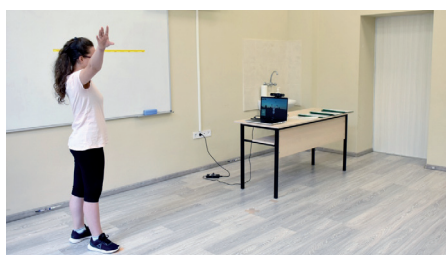


Fig. 4. Execution of movements in the shoulder joint controlling the catching of the ball in the game.

Фиг. 4. Изпълнение на движения в раменната става, контролиращи хващането на топката в играта.



Fig. 5. Execution of movements toward flexion and extension at the elbow and hip joint controlling hazard avoidance in the game.

Фиг. 5. Изпълнение на движения към флексия и екстензия в лакътна и в тазобедрена става, контролиращи избягване на опасности в играта.

the air) within reach of the player. The purpose of this game is for the player to overcome the hazards by lifting the action figure when one of the hazards approaches it. In the upper-limb version of the game, the player flexes the elbow joint to lift the piece, while in the other version this is accomplished by flexion at the hip and knee joints. Initially, the difficulty (from 10 to 120), duration and degrees of flexion are set, depending on the player's individual abilities. If one of the hazards touches the player's action figure the game starts over and the player still has a chance to reach the specified distance in the specified time without starting over (fig. 6). This way, the user is rewarded for a correct recognizable action but not penalized for an incorrect one. The score is determined by the number of attempts to cover the specified distance in the specified time. The game has available visual feedback. During the game, the remaining time in seconds and the amount of movement in the moving joint are displayed on the screen. There is an option to temporarily stop the game with a button on the screen.

ява извършеното движение. При извършване на движения в сагиталната или фронталната равнина, заекът движи едноименното на движещата се ръка ухо, съобразно избраните параметри и улавя изпратената топка (фиг. 3, 4).

Трудността може да се контролира чрез задаване на брой позиции за хващане (от 2 до 4), продължителност на сесията и скорост на изпълнение (от 10 до 100). Ако играчът хване топката в точното време получава точка, а по-високият резултат се свързва с по-добро изпълнение.

Той е изписан в средата на екрана и е видим за играча. Градусите на флексия/абдукция в раменната става и текущия резултат също се показват на екрана.

Втората игра „Избягване на опасности“ е разработена за рехабилитация на горния и долния крайник. Има две вариации на изпълнение: с флексия/екстензия в лакътната става и с флексия/екстензия в тазобедрената става (фиг. 5).

Опасностите се появяват на екрана на произволни позиции (движейки се напред по пода или във въздуха) в обсега на играча. Целта на

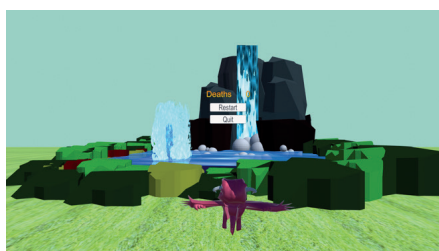
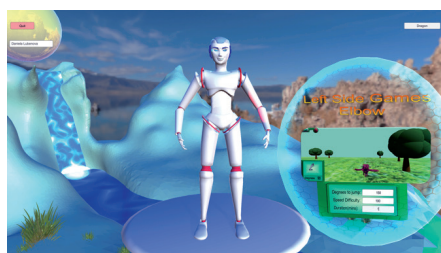


Fig. 6. The Hazard Avoidance game, with initial setting of the degree of inflection, difficulty (determined by execution speed), and duration.

Фиг. 6. Играта „Избягване на опасности“, с начално задаване на градуса на флектиране, трудността (определена от скоростта на изпълнение) и продължителността.

Previous results are saved and can be viewed in the player's profile (fig. 1, 2). Other information that can be saved includes: the number of repetitions of the game in a session, which shows skill progression over time; the duration of the session and changes in difficulty. If the system is used at home, this data can be uploaded via the Internet, allowing the therapist to remotely monitor the patient's engagement and progress.

We conducted an initial study of the video games we created that involved 10 volunteers from the National Sports Academy "Vasil Levski". The games were initially demonstrated by a member of the research team. Each participant then played each game 20 times over an one-month course. At the beginning and at the end we monitored their balance, coordination abilities, shin circumference, gait, orthostatic reactivity, and emotional state. At the end, participants completed a usability and emotional affect questionnaire immediately before and after play. The majority of participants indicated that they enjoyed playing the games and found them entertaining. They felt that the games were diverse and had good replay value. All users agreed that the free movements in front of the 3D camera were easy and enjoyable to perform. The feedback mechanisms seemed to be successful with all agreeing that they were able to identify when they had made a mistake and know how they had done it. Every participant endorsed the difficulty adaptivity feature.

Conducting this study allowed us to improve the design of our games, based on the recommendations made and the opinions of the participants, before launching their application to neurologically ill patients. It was clear from the study that the games we created were well received, but could be improved in some ways: creating an adaptive difficulty mechanism so that the game automatically speeds up or slows down depending on the player's capabilities; implementing audio feedback; displaying a graphical representation of the score for the last ten trials on the screen, allowing the player to track how they are progressing with the game.

A version that requires simultaneous use of both hands is in development. Before the next phase, we will make further improvements to the games such as adding additional feedback notifications to ensure players are aware of when and why errors occur. Another issue we will explore is how to effectively score the percentage score and analyze it against the difficulty of the game, as the self-score is not representative of skill progression. For example, if a user plays at a slow pace, they may have a score of 100%. As the user's skills improve over time, he begins to play at a faster pace. This increases the likelihood

тази игра е играчът да преодолее приближаващите се опасности чрез повдигане на фигурата. Във версията за игра с горния крайник играчът флектира лакътната става, за да повдигне фигурата, а в другата версия това се осъществява с флексия в тазобедрената и колянната става. Първоначално се задават трудността (от 10 до 120), продължителността и градусите на флексия, в зависимост от индивидуалните възможности на играча. Ако опасностите докоснат фигурата, играта започна отначало и играчът все още има шанс да премине определеното разстояние за посоченото време без да бъде връщан отначало (фиг. 6). По този начин потребителят е възнаграден за правилното разпознаваемо действие, но не е наказан за неправилното. Резултатът се определя от броя на опитите за изминаване на определеното разстояние за определено време. Играта е с подходяща визуална обратна връзка. По време на играта на екрана се изобразяват оставащото време в секунди и обема на движение в движещата се става. Има възможност за временно спиране на играта с бутон на екрана.

По-старите резултати се запазват и могат да се видят в профила (фиг. 1, 2). Друга информация, която може да бъде запазена, включва: брой на повторенията на играта в една сесия, което показва напредъка на уменията с течение на времето; продължителност на сесията и промени в трудността. Ако системата се използва в домашни условия, тези данни могат да бъдат качени чрез интернет, което позволява на терапевта дистанционно наблюдение на ангажираността и напредъка на пациента.

Проведохме начално проучване на създадените от нас видеоигри, което включва 10 доброволци от Националната спорна академия „В. Левски“ – София. Игрите първоначално се демонстрираха от член на изследователския екип. След това участниците изиграха всяка игра по 20 пъти в продължение на 1 месец. В началото и в края проследихме равновесните и координационните възможности, обиколката на подбедриците, походката, ортостатичната реактивност и емоционалното им състояние. При завършването участниците попълниха въпросник за използваемост и емоционално повлияване на игрите непосредствено преди и след играта. По-голямата част от участниците посочват, че се наслаждават на игрите и ги смятат за приятни. Те смятат, че игрите са разнообразни и имат добра стойност за повторение. Всички потребители се съгласиха, че свободните движения пред 3D камера са лесни и приятни за изпълнение. Механизмите за обратна връзка изглеждат успешни като всички се съгласяват, че са били в състояние

of a lower score as the game requires a higher level of skill and offers more opportunities for the player to make a mistake.

A study in the elderly and in patients with central and peripheral nervous disorders is forthcoming.

Neurophysiological Prerequisites for Application

Video games for rehabilitation meet all the principles of modern neurorehabilitation. They have a positive impact on the physical, cognitive, psychological and social dimensions of the personality and enhance the quality of life of the patient and his family. They are tailored to and focused on the individual needs of the person and are implemented with his/her active participation. They provide the possibility of continuous, daily application and build appropriate conditions for partial or complete resocialization of the individual [1, 27].

They stimulate the neural reorganization of the cerebral cortex, leading to psychophysical improvement both in healthy persons of different ages and in patients with motor or emotional problems [13, 28]. They improve neuroplasticity, that is, the ability of the brain to change adaptively in the face of significant changes in the body and the environment, which is genetically determined and accompanies human life from birth. It is associated with anatomical and functional reorganization of the nervous system at two levels: sensorimotor cortex (cortical plasticity) and neuronal network (neuronal plasticity). It is achieved by activation of functionally inactive nerve cells, synapses and pathways, change in their number, shape and size, and formation of new neurons. The best results are achieved in the early years of life when brain reorganization is physiological and related to its maturation. Although limited, the human brain's capacity for reorganization continues throughout life, but its potential is individual. The injured brain uses preserved neural pathways and systems to compensate for the neurological deficit. With insufficient effective brain capacity, compensatory mechanisms are incomplete, and restored function has altered characteristics relative to healthy individuals. Over time, new functional brain architectonics develops that is less efficient than the healthy brain, but can provide the most optimal brain activity possible depending on the type and severity of the injury, the age of the patient, and their premorbid condition [1, 8, 17, 27, 30].

Video games stimulate "mirror neurons" that are found in different areas of the brain. They make "a kind of virtual reality simulation in the brain". They construct the mind and intentions, which is important for all social relationships. Thanks to

да идентифицират кога и как са допуснали грешка. Всеки участник одобрява функцията за адаптивност на трудността.

Провеждането на това проучване ни позволи да подобрим дизайна на нашите игри на базата на направените препоръки и мнения на участниците, преди да стартираме приложението им при неврологично болни. От проучването стана ясно, че създадените от нас игри се възприемат добре, но могат да се подобрят в някои насоки като: създаване на адаптивен механизъм на трудност, така че играта автоматично да се ускори или забави в зависимост от възможностите на играча; имплементиране на звукова обратна връзка; показване на екрана на графично изображение на резултата за последните десет опита, което ще позволи на играча да проследява как напредва с играта.

В проект е разработване на версия, която изисква едновременно използване на двете ръце. Преди следващата фаза ще направим допълнителни подобрения в игрите като добавяне на допълнителни уведомления за обратна връзка, които да гарантират, че играчите са наясно кога се появяват грешки и защо са възникнали. Друг въпрос, който ще проучим е как ефективно да се вкара процентния резултат и да се анализира спрямо трудността на играта, тъй като самостоятелния резултат не е представителен за напредък в уменията. Например, ако потребителят играе с бавно темпо, той може да има резултат 100%. С времето уменията на потребителя се подобряват, той започва да играе с по-бързо темпо. Това увеличава вероятността за по-нисък резултат, тъй като играта изисква по-високо ниво от умение и предлага повече възможности за играча да допусне грешка.

Предстои проучване при възрастни и стари хора и при болни с централни и периферни нервни увреди.

Неврофизиологични предпоставки за приложение

Видеоигрите за рехабилитация отговарят на всички принципи на съвременната неврореабилитация. Оказват положително влияние върху физическите, когнитивните, психологичните и социалните измерения на личността и повишават качеството на живот на болния и неговото семейство. Съобразени са и фокусирани върху индивидуалните потребности на човека и се реализират с активното му участие. Осигуряват възможност за продължително, ежедневно приложение и изграждат подходящи условия за частична или пълна ресоциализация на личността [1, 27].

mirror neurons we perceive and share external emotions, understand the intentions and desires of others, can feel another person's pain, can cry at sad movies and enjoy emotional ones [1].

The mode of application of video games is essential, as the human brain has a predetermined and individual maximum load threshold. Overpowering stimuli without prior preparation and training can be fatal, and those that threaten the brain but do not kill it induce processes of endogenous neuroprotection – building up the brain tolerance to repeated exposure to the same stimulus. Therefore we should not overload the brain unnecessarily. Each new brain skill requires sufficient time and appropriate individual training. Otherwise, negative manifestations may occur (insomnia, epileptic seizures, vascular disorders, psychoses, etc.) [1, 2].

Video games meet all the requirements for motor learning: active participation by the user, possibility of frequent and prolonged application (incorporating activities in a home setting), goal setting (to set meaningful goals taking into account the usual activities performed before the disease) and performance variability (performing the motor activity in different variations, situations and conditions) [2, 27].

Conclusion

The video games we have created for rehabilitation using a 3D camera can be very engaging as they stimulate limb movements and improve limb function. They meet the principles of game design that are important for successful rehabilitation. Their practical application requires accessible equipment for home use. The initial phase of our study showed positive feedback regarding the rationality and usability of the presented video games. They are suitable for use alone or in combination with other kinesiotherapy approaches for preventive and curative purposes.

REFERENCES / КНИГОПИС

1. Любенова Д. Титянова Е. Неврорехабилитация. В: Титянова Е. (ред) Учебник по нервни болести. КОТИ ЕООД, София, 2015, 249–263.
2. Титянова Е, Любенова Д. Хемипаретична походка при мозъчен инсулт. Съвременни методи на изследване и неврорехабилитация. КОТИ ЕООД, София, 2016, 89–118.
3. Alvarez J., Michaud L. Serious games: advergaming, edugaming, training, and more, IDATE, 2008.
4. Burdea G. Key note address: Virtual rehabilitation – benefits and challenges. 1st Intl. Workshop on virtual reality rehabilitation (mental health, neurological, physical, vocational), 2002, 1–11.
5. Burke J, McNeill D, Charles K, Morrow J, Crosbie H, McDonough M. Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *The visual computer* 25(12), 2009:1085–1099.

Те стимулират невронната реорганизация на мозъчната кора, водеща до психофизическо подобрение както при здрави лица на различна възраст, така и при болни с двигателен или емоционален проблем [13, 28]. Подобрят невропластичността, а именно възможността на мозъка да се променя адаптивно при значими промени в организма и околната среда, което е генетично заложено и съпътства живота на човека от раждането му. Свързва се с анатомична и функционална реорганизация на нервната система на две нива: сензорномоторна кора (корова пластичност) и невронална мрежа (невронална пластичност). Постига се чрез активиране на функционално неактивни нервни клетки, синапси и пътища, промяна в техния брой, форма и размери, както и образуване на нови неврони. Най-добри резултати се постигат в ранните години на живота, когато реорганизацията на мозъка е физиологична и свързана с неговото съзряване. Макар и лимитирана, възможността на човешкия мозък за реорганизация продължава през целия му живот, но потенциалът му е индивидуален. Уврежденият мозък използва съхранените нервни пътища и системи за компенсиране на неврологичния дефицит. При недостатъчно ефективен мозъчен капацитет компенсаторните механизми са непълни, а възстановената функция е с променена характеристика спрямо здравите лица. С течение на времето се изгражда нова функционална мозъчна архитектура, която е по-слабо ефективна от здравия мозък, но може да обезпечи възможно най-оптимална мозъчна дейност в зависимост от вида и тежестта на увреждането, възрастта на болния и неговото преморбидно състояние [1, 8, 17, 27, 30].

Видеоигрите стимулират „огледалните неврони“, които се откриват в различни области на мозъка. Те правят „своеобразна симулация на виртуална реалност в мозъка“. Конструират ума и намеренията, което е важно за всички социални взаимоотношения. Благодарение на огледалните неврони ние възприемаме и споделяме външни емоции, разбираме намеренията и желанията на другите, можем да почувстваме болката на друг човек, можем да плачем на тъжни филми и да се радваме на емоционални такива [1].

От съществено значение е начинът на приложение на видеоигрите, тъй като човешкият мозък има определен и индивидуален максимален праг на натоварване. Свърхсилните стимули без предварителна подготовка и обучение могат да бъдат фатални, а тези, които застрашават мозъка, но не го убиват, предизвикват процеси на ендогенна невропротекция – изграждане на мозъчен толеранс към повтор-

6. Burke J, McNeill D, Charles K., Morrow J, McDonough M., Crosbie H. Serious games for upper limb rehabilitation following stroke. In: IEEE Intl. Conf. in games and virtual worlds for serious applications (VS Games '09), 2009, 103–110.
7. Cameirão M, Bermúdez i Badia S, Duarte Oller E, Verschure P. The rehabilitation gaming system: a review. *Studies in health technology and informatics* 145, 2009:65–83.
8. Darekar A, McFadyen B J, Lamontagne A, Fung J (2015), Efficacy of virtual reality-based intervention on balance and mobility disorders post-stroke: a scoping review, *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 12:46.
9. Dominguez-Tellez P, Moral-Munoz A, Salazar A, Casado-Fernandez E, Lucena-Anton D. Game-based virtual reality interventions to improve upper limb motor function and quality of life after stroke: Systematic review and meta-analysis. *Games Health J.* 9, 2020:1–10.
10. Ferreira V, Carvas Jr, Artileiro C, Pompeu E, Hassan A, Kasawara T. Interactive video gaming improves functional balance in poststroke individuals: Meta-analysis of randomized controlled trials. *Eval. Health prof.* 43, 2020:23–32.
11. GestureTek: <http://www.gesturetekhealth.com/>, 2008.
12. Grigorova-Petrova K, Dimitrova A, Lubenova D, Zaharieva D, Vassileva D. Feasibility of interactive video games for influence on balance in institutionalized elderly people. *Journal of physical education and sport © (JPES)* 31 (15), 2015:429–432.
13. Jack D, Boian R, Merians A, Tremaine M, Burdea G, Adamovich S. Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation. *IEEE Trans. Neural syst. rehabil. eng.* 9, 2001: 308–318.
14. Janarthanan V. Serious video games: games for education and health. *Proceedings of the 9th International Conference on information technology (ITNG '12)*, 2012, 875–878.
15. Koster R. A Theory of fun for game design. Paraglyph, Arizona, 2005.
16. Laamarti F, Eid M, El Saddik A. An Overview of serious games. *International journal of computer games technology*, 2014, <https://doi.org/10.1155/2014/358152>.
17. Lohse K, Hilderman C, Cheung K, Tatla S, Van der Loos H. Virtual Reality Therapy for adults post-stroke: A Systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *PLoS ONE* 9(3), 2014: e93318.
18. Maggio G, Russo M, Cuzzola F, Destro M, La Rosa G, Molonia F, Bramanti P, Lombardo G, De Luca R, Calabrò S. Virtual reality in multiple sclerosis rehabilitation: A review on cognitive and motor outcomes. *J. Clin. neurosci.* 65, 2019, 106–111.
19. Maier M, Rubio Ballester B, Duff A, Duarte Oller E, Verschure P. Effect of specific over nonspecific vr-based rehabilitation on poststroke motor recovery: A Systematic meta-analysis. *Neurorehabil. neural repair* 33, 2019:112–129.
20. Mekbib B, Han J, Zhang L, Fang S, Jiang H, Zhu J, Roe W, Xu D. Virtual reality therapy for upper limb rehabilitation in patients with stroke: A meta-analysis of randomized clinical trials. *Brain Inj.* 34, 2020:456–465.
21. Rand D, Kizony R, Weiss P. Virtual reality rehabilitation for all: Vivid GX versus Sony PlayStation II EyeToy. In: *Proc. 5th Intl. Conf. on Disability, Virtual Reality & Associated Tech '04*, 2004, 87–94.
22. Rego P, Moreira P, Reis L. Serious games for rehabilitation: a survey and a classification towards a taxonomy. *Proceedings of the 5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI '10)*, 2010.
23. Resnick B. Motivation to perform activities of daily living in the institutionalized older adult: can a leopard change its spots? *Journal of advanced nursing* 29 (4), 1999:792–799.
24. Rizzo A, Kim J. A SWOT analysis of the field of virtual reality rehabilitation and therapy. *Presence* 14, 2005:119–146.
25. Rutkowski S, Kiper P, Cacciantre L, Cieślak B, Mazurek J, Turolla A, Szczepańska-Gieracha J. Use of virtual reality-based training in different fields of rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *J. Rehabil. Med.* 52, 2020. <https://www.medicaljournals.se/jrm/content/html/10.2340/16501977-2755>.

но въздействие на същия стимул. Ето защо не трябва да претоварваме излишно мозъка. За всяко ново мозъчно умение се изисква достатъчно време и подходящо индивидуално обучение. В противен случай могат да възникнат негативни прояви (безсъние, епилептични пристъпи, съдови нарушения, психози и др.) [1, 2].

Видеоигрите отговарят на всички изисквания за двигателно обучение, а именно активно участие на потребителя, възможност за често и продължително приложение (включване на дейности в домашна обстановка), целенасоченост (да се поставят смислени цели като се отчитат обичайните дейности, извършвани преди заболяването) и вариабилност на изпълнението (извършване на двигателната дейност в различни варианти, ситуации и условия) [2, 27].

Заклучение

Създадените от нас видеоигри за рехабилитация с използване на 3D камера могат да бъдат много ангажиращи, тъй като стимулират движенията на крайниците и подобряват тяхната функция. Те отговарят на принципите на игровия дизайн, които са важни за успешната рехабилитация. Практическото им приложение изисква достъпна за домашна употреба апаратура. Началната фаза на нашето изследване показва положителни отзиви по отношение на рационалност и използваемост на представените видеоигри. Подходящи са за самостоятелно приложение или в комбинация с други кинезитерапевтични подходи с профилактична и лечебна цел.

26. Uzor S, Baillie L. Investigating the long-term use of exergames in the home with elderly fallers. *Proceedings of the SIGCHI Conference on human factors in computing systems (CHI '14)*, ACM, 2014, 2813–2822.
27. Voinescu A., Sui J, Fraser D. Virtual reality in neurorehabilitation: An umbrella review of meta-analyses. *J. Clin. Med.* 10(7), 2021: <https://doi.org/10.3390/jcm10071478>.
28. Weiss P, Kizony R, Feintuch U, Katz N. Virtual reality in neurorehabilitation. *textbook of neural repair and neurorehabilitation*, 2005, 182–197.
29. Witmer G, Singer J. Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. *Presence* 7, 1998:225–240.
30. Yavuzer G, Senel A, Atay M, Stam H. Playstation EyeToy games improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: a randomized controlled clinical trial. *Eur. J. Phys.Rehabil. Med.* 44 (3), 2008:237–244.

Address for correspondence:

Nikolai Robert Lyubenov
SITEL
34 Mila Rodina Str., 1407 Sofia, Bulgaria
E-mail: nikolai.lubenov@gmail.com