JESK J Ergon Soc Korea 2025; 44(6): 729-746
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2025.44.6.729
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

NexerciseVR: Enhancing Intrinsic Motivation and Enjoyment in Neck Exercise through a Narrative-Based VR Exergame

Jihae Yu[1], Hyunok Lee[2], Dayoung Lee[3], Woojoo Kim[1,2]

[1]Kangwon National University, Graduate School of Data Science, Chuncheon-si, 24341
[2]Kangwon National University, Division of Liberal Studies, Chuncheon-si, 24341
[3]Kangwon National University, Department of Computer Science and Engineering, Chuncheon-si, 24341

NexerciseVR: 목 운동의 내재적 동기와 즐거움 증진을 위한 서사 기반 VR 엑서게임

유지혜[1], 이현옥[2], 이다영[3], 김우주[1,2]

[1]강원대학교 데이터사이언스학과
[2]강원대학교 자유전공학부
[3]강원대학교 컴퓨터공학과

Corresponding Author
Dayoung Lee
Kangwon National University, Department of Computer Science and Engineering, Chuncheon-si, 24341
Email: dayoung08@kangwon.ac.kr

Woojoo Kim
Kangwon National University, Division of Liberal Studies, Chuncheon-si, 24341
Email : woojoo.kim@kangwon.ac.kr

Received : August 08, 2024
Revised : November 28, 2025
Accepted : December 09, 2025

Copyright@2025 by The Human Factors & Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: This study presents NexerciseVR, a VR-based exergame designed to enhance motivation and engagement in neck exercise, addressing the low adherence often observed in conventional rehabilitation routines.

Background: Neck pain is one of the most prevalent musculoskeletal disorders worldwide, and regular neck exercises are known to be effective for pain reduction and functional improvement. However, the repetitive and monotonous nature of these exercises frequently leads to decreased motivation and poor long-term adherence.

Method: NexerciseVR integrates narrative elements and gamified mechanics into a VR environment to transform repetitive exercise into an interactive and engaging experience. The system guides users through four neck motions (cervical flexion, side-flexion, rotation, and extension) within story-driven microgames designed around the metaphorical journey of a turtle seeking neck health. A within-subject experiment with 20 healthy adults compared NexerciseVR with conventional neck exercises using the Intrinsic Motivation Inventory (IMI) and the Exergame Enjoyment Questionnaire (EEQ).

Results: Participants reported significantly higher scores for interest/enjoyment and perceived choice in the NexerciseVR condition, indicating enhanced intrinsic motivation and autonomy. EEQ results revealed high ratings in control, immersion, and exercise factors, demonstrating both usability and positive engagement. Qualitative feedback highlighted the importance of narrative immersion and suggested content variety and reward structures as key factors for long-term adherence.

Conclusion: NexerciseVR effectively increased motivation and engagement in neck exercise through narrative-driven gamification, suggesting its potential as a sustainable and enjoyable digital healthcare solution for promoting regular neck exercise.

Application: NexerciseVR can serve as an engaging digital rehabilitation tool in both clinical and home-based contexts. By incorporating adaptive feedback, narrative-

driven progression, and gamified rewards, it may support sustained adherence to neck exercise among patients with chronic neck pain or office workers at risk of musculoskeletal strain.

Keywords: Neck pain, Neck exercise, Exergame, Gamification, Virtual reality

1. Introduction

목 통증은 전 세계적으로 높은 유병률을 보이는 흔한 질환이다(Fandim et al., 2021). 근골격계 질환 중 흔한 질환인 목 통증은 2019년에 1,000명당 27명에게 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Kazeminasab et al., 2022). 목 통증은 주로 머리를 앞으로 기울인 자세와 같은 잘못된 목 자세로 인한 반복적인 근육의 긴장 때문에 발생한다. 스마트폰 사용이 보편화됨에 따라 목 통증 문제는 점점 더 심각해지고 있다. 연구에 따르면 스마트폰 과다 사용은 목 통증 발생 위험을 유의미하게 증가시키는 것으로 나타났다(Chen et al., 2025). 목 통증은 전반적인 업무 생산성과 삶의 만족도에 부정적인 영향을 미치는데(Alhazmi et al., 2024), 이를 완화하기 위한 여러 방안들 중에서 목 운동은 간단히 수행하기 쉬울 뿐 아니라 많은 연구에서 효과가 입증되었다. Abbas et al. (2024)는 기계적 목 통증 완화에 있어 특정 목 강화 운동이 유익하다고 보고했으며, Lauche et al. (2016)는 일반적인 목 운동이 목 통증과 삶의 질 개선에 효과적이라고 밝혔다. Tunwattanapong et al. (2016)는 규칙적인 목 스트레칭으로 회사원이 중간 정도나 심한 정도의 통증 상태를 효과적으로 감소시키고 목 기능 및 삶의 질을 개선할 수 있음을 입증했다.

그러나 전통적인 목 운동의 단조롭고 반복적인 움직임을 수행하는 것은 지루한 작업이며 규칙적으로 지속하기 위해서는 상당한 끈기가 필요하다. 신체 활동의 저조는 주로 동기 부여 문제에서 비롯되며(Godin et al., 1994), 목 운동에 포함된 반복적인 동작은 환자의 순응도에 부정적인 영향을 미쳐 목 통증 완화 효과를 저해할 수 있다(Gormley, 2005; Ylinen, 2007). 연구에 따르면 이러한 이유로 약 50% 이상의 환자들이 처방된 운동을 따르지 않는 것으로 보고되었다(Gross et al., 2015; Lauche et al., 2016; Ylinen et al., 2007). 따라서 목 운동의 최대 효과를 얻기 위해서는 환자의 순응도를 높이는 노력이 중요하다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 기존에도 모바일 애플리케이션을 활용한 다양한 시도들이 있었다. 예를 들어, 단순히 운동 방법을 텍스트나 영상으로 안내하는 앱(Lee et al., 2017; Markopoulos et al., 2020)이나, 스마트폰 센서를 이용해 잘못된 자세를 감지하고 알림을 주는 앱(Shah et al., 2024) 등이 개발되었다. 그러나 이러한 앱들은 사용자의 적극적인 상호작용을 유도하거나 지속적인 동기를 부여하는 데는 한계가 있었다.

운동 및 재활 분야에서는 사용자의 동기를 유발하기 위한 유망한 해결책으로 가상 현실(Virtual Reality, VR)과 게임 메커니즘의 사용이 연구자와 실무자들 사이에서 주목받고 있다. VR 애플리케이션은 신체 운동을 상호작용하는 방식으로 제공해 인지 부하를 최적화할 수 있다(Haryana et al., 2022). VR의 몰입적 특성은 스포츠 및 피트니스 활동에 대한 내적 동기를 증진시켜 사용자에게 즐거움과 보람을 제공하는 경험을 제시한다(Huang et al., 2019; Reer et al., 2022). VR 기반 시스템은 환자의 치료를 개선하고 병원 방문의 빈도와 비용을 줄이는 데 유용한 도구임이 입증되었다(Burdea et al., 2000; Holden, 2005). VR은 만성 통증 치료에도 활용된다(Preim et al., 2023). 환자가 불편한 동작을 피하려 할 때, 통증에 대한 집중을 분산시키고 보다 유리한 움직임 패턴을 확립하고 더 많은 신체 활동을 장려하는 데 도움이 될 수 있다(Indovina et al., 2018).

이러한 VR 기술의 잠재력에 주목하여, 최근 다양한 VR 목 운동에 대한 선행 연구가 진행되었다. VR이 목 재활 운동에서 운동 범위를 증가시키는 데 유용하며(Chen et al., 2014, 2017; Nusser et al., 2021; Orr et al., 2023; Guo et al., 2024), VR이 목 통증 감소와 목 장애 지수를 줄이는데 더 효과적이었으며(Rezaei et al., 2018; Orr et al., 2023; Guo et al., 2024), 압통 역치(Pain Pressure Thresholds), 관절 위치 감각 오차(Joint Position Sense Error), 기능적 제한 감소에 VR 운동이 효과적이었다(Cetin et al., 2022). 또한 VR 운동이 비VR 운동에 비해 더 큰 인지 효과를 전반적으로 나타낸다는 연구 결과가 있었다(Sarig Bahat et al., 2015). VR을 통해 정밀한 측정과 피드백을 통해 치료사가 운동 과정을 효과적으로 모니터링하고 개인화된 재활 프로그램을 제공할 수 있는 가능성을 보여주기도 하였다(Mihajlovic et al., 2018).

이와 같이 VR 기반 목 운동의 치료적, 기능적 효과는 이미 다수의 선행 연구를 통해 충분히 입증되었다. 그러나 대부분의 기존 애플리케이션은 단순한 그래픽 객체를 추가하여 제어하는 방식(Chen et al., 2014; Mihajlovic et al., 2018; Rezaei et al., 2018), 가상 공간을 구경하는 방식(Tejera et al., 2020; Cetin et al., 2022), 가상 헬스장에서 운동 동작을 반복하는 기능 중심의 접근(Youssef et al., 2023)을 따르고 있어, 고급 게임 메커니즘과 게임화(Gamification) 기술을 고려하지 않았다. 이러한 시스템은 사용자가 지루함을 느끼기 쉽기 때문에 장기적인 운동 순응도를 확보하기 어렵다. 따라서 본 연구는 기능적 유효성을 이미 검증된 것으로 보고, 사용자가 자발적으로 즐겁게 참여할 수 있는 VR 게임 요소를 도입하여 지속적인 참여를 이끌어내는 시스템인 NexerciseVR을 설계함으로써 기존 연구와의 차별성을 확보하고자 한다.

2. Method

2.1 System prototype

2.1.1 Reference exercise

본 VR 애플리케이션의 운동 프로토콜은 Lee et al. (2017)에 기술된 McKenzie 목 운동을 기반으로 하되, 사용성 및 자가 관리 환경에서의 확장성 평가에 맞게 조정되었다. 임상에서 움직임은 일반적으로 세 평면(시상면, 관상면, 수평면)에서 측정되며, 일반적으로 반주기 움직임, 즉 중립 자세에서 한 평면의 가동 범위 끝까지의 움직임을 측정한다(Williams et al., 2010). 다음 동작은 모두 경추의 핵심적인 운동 평면(시상면, 관상면, 수평면)을 포함한다. 예를 들어 턱 당기기(Chin tuck)와 경추 신전(Extension)은 시상면(Sagittal plane)을 측면 굴곡(Side-bending)은 관상면(Coronal plane)을, 경추 회전(Rotation)은 수평면(Transverse plane)에 해당한다. 각 운동의 지침은 다음과 같다.

- 좌/우 측면 굴곡(Left/right side-bending): 머리를 최대한 왼쪽으로 기울이고 그 자세를 3초간 유지한다. 이 동작을 2회 반복한 후, 중립 자세로 돌아와 반대쪽도 동일하게 반복한다.
- 앉아서 턱 당기기(Sitting chin tuck): 머리가 아래로 숙여지지 않도록 정면을 보고 턱을 가슴 쪽으로 최대한 당긴다. 이 자세를 3초간 유지하며, 총 5회 반복한다. 중립 위치로 돌아간다.
- 좌/우 경추 회전(Left/right neck rotation): 고개를 최대한 왼쪽으로 돌리고 그 자세를 3초간 유지한다. 이 동작을 2회 반복한 후, 중립 자세로 돌아와 반대쪽도 동일하게 반복한다.
- 앉아서 경추 신전(Sitting neck extension): 머리를 최대한 뒤로 젖힌다. 이 자세를 3초간 유지하며, 총 5회 반복한다. 중립 위치로 돌아간다.

Figure 1은 선정된 운동 동작을 기반으로 네 가지 참조 운동 동작과 이를 게임에 적용한 기본 상호작용을 보여준다. 중앙의 더하기('+')

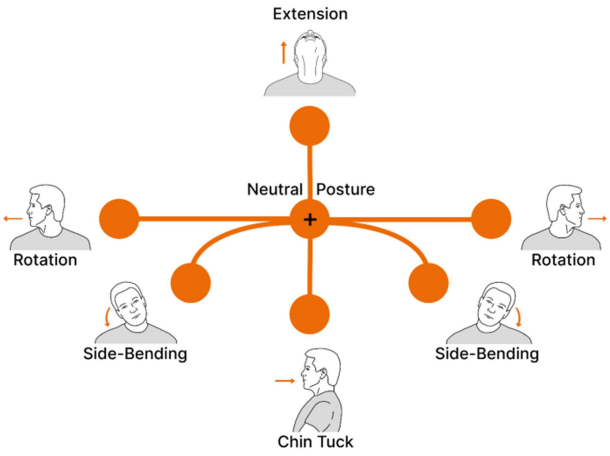

Figure 1. Reference exercise motions and adapted basic interactions

기호는 VR 환경에서 중립 자세에 있는 사용자의 시점을 나타내며, 주황색 원과 선은 각 운동 동작에 따른 시점의 궤적을 나타낸다.

2.1.2 Game mechanics

본 시스템은 동작 기반 비디오 게임의 요소가 포함된 마이크로게임 컬렉션 형식으로 설계되었다.

특히 마이크로게임 컬렉션의 대표작인 '끝내주게 춤춰라 메이드 인 와리오(WarioWare: Move it!)' (Nintendo, 2023)의 디자인 개념을 차용했다. '메이드 인 와리오' 스타일의 게임은 차를 피하거나 표적을 조준하는 것처럼, 짧고 간단한 과제들을 빠른 순서로 완료하도록 요청하는 마이크로게임의 집합이다(Nelson and Mateas, 2007). 또한, '메이드 인 와리오'는 허구적 표현을 통해 각 마이크로게임의 목표와 조작을 효과적으로 전달하며, 다양한 마이크로게임이 일관된 규칙으로 연결되어 게임의 재미(Playability)를 보장한다(Gingold, 2005).

'메이드 인 와리오' 시리즈는 사용자에게 동기를 부여하기 위해 두 가지 핵심 아이디어를 가이드라인에 활용한다. 이 게임에서 가이드라인은 각 레벨의 배경 스토리 일부로 기능한다. 플레이어에게 특정 조작을 수행하도록 요청하는 내레이션이 등장하고, 해당 마이크로게임의 핵심 규칙은 이 조작을 강조한다. 이러한 디자인은 가이드라인과 서사의 결합을 보여주며 플레이어로 하여금 게임에 적극적으로 상호작용하도록 유도한다(Cao and Liu, 2021). 본 시스템 역시 '목이 아픈 거북이가 목 건강의 비밀 장소를 찾아 떠나는 모험'이라는 서사적 구조를 중심으로 전개된다.

서사는 설정, 인물, 갈등에 대한 세부 사항을 전달하면서 해결되지 않은 문제와 궁극적인 해결 방법을 제시하는 시작, 중간, 끝이 명확히 구조화된 모든 이야기를 의미한다(Hinyard and Kreuter, 2007).

Lu (2015)의 연구에 따르면, 엑서게임의 서사는 두 가지 상호보완적인 효과를 통해 플레이어의 참여 동기를 강화한다. 하나는 플레이어가 캐릭터의 정체성과 목표에 감정 이입하는 동일시(Identification)를 통해 캐릭터에 대한 관여도를 높이는 것이다. 다른 하나는 흥미로운 줄거리가 제공하는 풍부한 게임 경험을 통해 플레이어의 몰입(Immersion)을 유도하는 것이다. Lu (2015)는 캐릭터와의 동일시와 스토리 기반의 몰입이 결합될 때, 운동 수행에 대한 강력한 내적 동기가 형성될 수 있음을 확인했다.

이에 본 시스템은 사용자에게 단순한 운동 동작의 반복을 넘어, 이야기의 주인공으로서 목표를 달성하려는 내재적 동기를 부여한다. 각 운동 동작은 게임 내 특정 스토리 라인과 자연스럽게 연결되어, 사용자가 게임 속 캐릭터의 행동에 몰입함으로써 의도된 목 운동을 수행하도록 유도한다.

게임은 총 6가지 스테이지로 구성되며, 캘리브레이션 및 허브 월드(Figure 2), 그리고 4가지 핵심 운동 스테이지(Figure 3)를 다음의 순서와 내용에 따라 진행한다.

- 캘리브레이션(Calibration): 사용자는 안내에 따라 각 동작에 대한 자신의 최대 목 움직임 각도를 측정한다(Figure 2).
- 허브 월드(Hub world): '목이 아픈 거북이가 목 건강의 비밀 장소를 찾아 떠나는 모험'이라는 메인 스토리를 제시하는 공간이며, 컨트롤러 조작을 통해 마이크로게임으로 이동한다(Figure 2).
- 좌/우 측면 굴곡(Left/right side-bending): 사용자는 바닷속에서 다가오는 물고기 오브젝트를 좌우로 피하는 동작을 수행한다. 동작은 왼쪽과 오른쪽 각각 2번씩 반복한다. 각 동작은 10초의 제한 시간 중 3초 동안 자세를 유지하면 성공하며, 실패 시 다시 수행하도록 안내된다(Figure 4). 모든 동작을 수행하면 "STAGE CLEAR"라는 문구와 함께 다음 동작의 게임으로 이동한다.
- 앉아서 턱 당기기(Sitting chin tuck): 사용자는 시장을 지나며 돼지 캐릭터에게 턱을 당겨서 인사한다. 동작은 총 5번 반복한다. 각 동작은 10초의 제한 시간 중 3초 동안 자세를 유지하면 성공하며, 실패 시 다시 수행하도록 안내된다. 모든 동작을 수행하면 "STAGE CLEAR"라는 문구와 함께 다음 동작의 게임으로 이동한다.
- 좌/우 경추 회전(Left/right neck rotation): 사용자는 비밀 장소가 적힌 두루마리 오브젝트를 쳐다보며 목을 좌우로 회전시키는 운동을 한다. 동작은 왼쪽과 오른쪽 각각 2번씩 반복한다. 각 동작은 10초의 제한 시간 중 3초 동안 자세를 유지하면 성공하며, 실패 시 다시 수행하도록 안내된다. 모든 동작을 수행하면 "STAGE CLEAR"라는 문구와 함께 다음 동작의 게임으로 이동한다.

- 앉아서 경추 신전(Sitting neck extension): 모험의 마지막 단계에서, 사용자는 비밀 장소에 도달하여 치유의 기운을 얻기 위해 달을 올려다보며 목을 젖히는 운동을 수행한다. 동작은 총 5번 반복한다. 각 동작은 10초의 제한 시간 중 3초 동안 자세를 유지하면 성공하며, 실패 시 다시 수행하도록 안내된다. 이후 "GAME CLEAR"라는 문구와 함께 폭죽이 터지며 운동이 끝난다(Figure 4).

Figure 3와 4에서 볼 수 있듯이, Unity 게임 엔진으로 개발된 시스템은 직관적인 피드백 방식을 제공한다. 모든 마이크로게임은 시작 직후 15초 동안 안내 음성과 안내 텍스트가 출력된다(Figure 3 상단 참고). 출력이 끝난 후 플레이어 시점이 이동하고 운동이 시작된다. 목 움직임 피드백은 바 형태로 제공되며, 아래에 위치한 주황색 바는 참가자의 현재 목 움직임 각도를 반영하고 위에 위치한 파란색 바는 현재 시도의 진행도를 나타낸다. 각 운동의 지정된 순서가 다 끝나면 해당 운동의 마이크로게임은 클리어되고 다음 스테이지로 넘어간다.

Figure 2. The user calibration process (Calibration 1, 2) and the main hub world introducing the game's narrative (Hub World 1, 2)

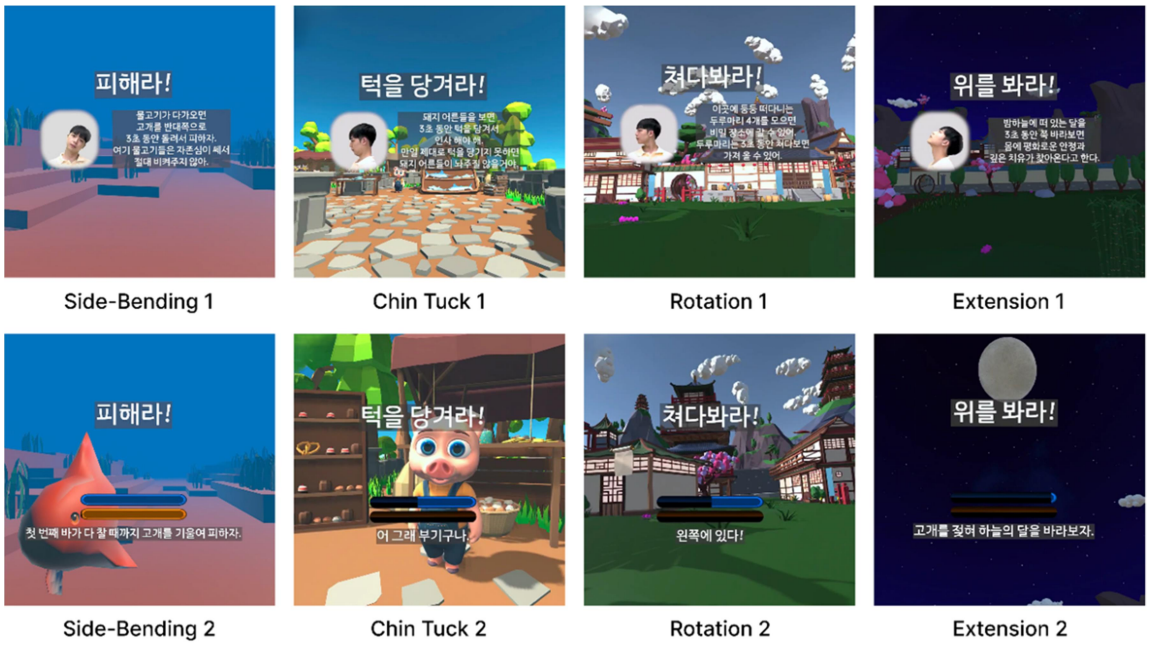

Figure 3. Overview of the four core neck exercise microgames: Side-Bending, Chin Tuck, Rotation, and Extension. The top row displays the initial instructions for each exercise, while the bottom row shows the corresponding gameplay scenes and UI feedback bars

Figure 4. Examples of system feedback: (Left) The 'Fail' screen instructing the user to retry the motion, and (Right) the final 'Game Clear' screen shown upon successful completion of all stages

2.2 Prototype evaluation

2.2.1 Participants and experimental design

시각 또는 목에 장애가 없는 오른손잡이 20명(남성 8명, 여성 12명; 평균 연령: 22.80, SD = 1.66)이 실험에 참가하였다. 실험 중 어떤 참가자도 VR 사용으로 인한 심한 멀미를 보고하지 않았다. 본 연구는 두 가지 운동 방식을 비교하는 피험자 내 설계(within-subject design)로 수행되었다. 모든 참가자는 일반적인 목 운동과 NexercixseVR 운동을 모두 수행하였으며, 순서 효과를 최소화하기 위해 참가자 20명을 두 가지 운동 순서(일반 운동 우선 또는 NexerciseVR 운동 우선)의 두 집단에 10명씩 균등하게 배정하였다. 참가자는 내재적 동기 척도(Intrinsic Motivation Inventory, IMI) (Intrinsic Motivation Inventory [IMI] Scale Description, n.d.)를 사용하여 각 운동에 대한 내재적 동기 부여를 평가하였다. IMI의 기반이 되는 자기 결정 이론(Self-determination theory)은 인간의 행동과 학습에서 내재적 동기의 역할을 강조한다. 이 이론에 따르면, 자율성, 역량 및 관계성에 대한 기본적인 심리적 욕구의 충족은 내재적 동기 및 최적의 웰빙에 필수적이다(Ryan and Deci, 2000).

NexerciseVR에 대한 즐거움을 평가하기 위해 엑서게임 즐거움 설문지(Exergame Enjoyment Questionnaire, EEQ) (Fitzgerald et al., 2020)를 추가로 활용하였다. 이는 사회인지 이론(Social cognitive theory, SCT)에서 인지된 즐거움을 운동 행동의 자기 조절 및 지속에 기여하는 핵심 요인으로 보기 때문이다(Mullen et al., 2011).

아래의 Table 1, Table 2, Table 3은 차례대로 실험에 사용된 IMI, EEQ 설문, 종료 설문 항목들을 보여주며, 실제 실험에서는 모든 항목이 한국어로 번역되어 사용되었다. IMI는 전혀 사실이 아니다(1) ~ 매우 사실이다(7)의 7점 리커트 척도로 평가했다. EEQ는 전적으로 동의하지 않음(1) ~ 전적으로 동의함(5)의 5점 리커트 척도로 평가했다. 참가자들은 제공된 설문지를 읽고 해당 항목에 해당하는 번호를 말하는 방식, 즉 구두로 응답하였다. 종료 설문은 3가지 모든 문항에 대해 정량적 평가와 정성적 평가를 혼합하여 실시하였다. '예/아니오'의 정량적 질문을 확인한 후, 이어서 후속 질문으로 정성적 평가를 진행하였다.

Table 1. Items of the intrinsic motivation inventory

No.	Item
1	While I was working on the task I was thinking about how much I enjoyed it.
2	I did not feel at all nervous about doing the task.

Table 1. Items of the intrinsic motivation inventory (Continued)

No.	Item
3	I felt that it was my choice to do the task.
4	I think I am pretty good about this task.
5	I found the task very interesting.
6	I felt tense while doing the task.
7	I think I did pretty well at this activity, compared to other students.
8	Doing the task was fun.
9	I felt relaxed while doing the task.
10	I enjoyed doing the task very much.
11	I didn't really have a choice about doing the task
12	I am satisfied with my performance at this task.
13	I was anxious while doing the task.
14	I thought the task was very boring.
15	I felt like I was doing what I wanted to do while I was working on the task.
16	I felt pretty skilled at this task.
17	I thought the task was very interesting.
18	I felt pressured while doing the task.
19	I felt like I had to do the task.
20	I would describe the task as very enjoyable.
21	I did the task because I had no choice.
22	After working at this task for a while, I felt pretty competent.

Table 2. Items of the exergame enjoyment questionnaire

No.	Item
1	I felt excited about the physical activities in the game.
2	The exercise in this game made me feel good.
3	I felt like I lost track of time while playing.
4	I felt that it was difficult to understand how the game works.
5	I was focused on the game.
6	I felt that the game would have been more enjoyable without physical activity.
7	I felt that it was easy to familiarize myself with the game controls.
8	I felt emotionally attached to the game.
9	I consider playing the game "exercise."
10	I felt that the physical activity was too intense for me.
11	I did not feel a desire to make progress in the game.

Table 2. Items of the exergame enjoyment questionnaire (Continued)

No.	Item
12	I felt a strong sense of being in the world of the game to the point that I was unaware of my surroundings.
13	I would rather not be exercising, even though the exercise was accompanied by game elements.
14	I felt that playing the game was beneficial for my physical well-being.
15	I felt that this game provided an enjoyable challenge.
16	I felt a sense of accomplishment from playing the game.
17	I felt that the game reacted quickly to my actions.
18	I did not feel like I wanted to keep playing.
19	I would prefer that this physical activity was not accompanied by game elements.
20	I felt in control of the game.

Table 3. Items of the participants interview

No.	Item
1	Did you enjoy doing neck exercises with this game?
2	Do you have any suggestions for improving or adding to this game?
3	Do you think this game will help you stick to a regular neck exercise routine?

2.2.2 Experimental procedure and data analysis

실험을 시작하기 전에 참가자들은 실험에 대한 간단한 소개를 받고, Lee et al. (2017)에서 사용한 McKenzie 목 운동 중 6가지 동작 중 본 연구에 사용될 4가지 동작에 대한 안내 동영상을 시청하였다. 기존 목 운동 세션에서 참가자들은 4가지의 각 운동 동작을 2.1.1 Reference exercise에 기술된 순서와 횟수대로 수행하였으며, 이 때 동작을 잘못 수행하면 실험자가 올바른 동작을 지시했고, 참가자는 다시 수행하도록 요청받았다. NexerciseVR 세션에서 참가자들은 우선 Meta Quest 3을 착용하고, NexerciseVR 시스템을 사용해 게임 환경에서 4가지 각 운동 동작을 2.1.2 Game mechanics에 기술된 순서와 횟수대로 수행하였다. 이 순서와 횟수는 기존 목 운동과 동일하게 설정되었다. 각 세션이 끝난 후 참가자들은 IMI에 대해 응답하였으며, NexerciseVR 세션의 경우에만 추가로 EEQ에 대해 응답하였다. 마지막으로 참가자들은 짧은 인터뷰를 통해 시스템에 대한 피드백 및 의견을 제공하였다.

이후 데이터 분석을 위해 각 운동 방법에 대한 설문 항목의 주관적인 평가 점수를 수집하고 통계 분석을 위해 정리하였다. IMI의 경우 22항목 각각에 대한 두 목 운동 방법의 비교가 가능하지만, 본 연구에서는 흥미/즐거움(interest/enjoyment), 인지된 능력(perceived competence), 인지된 선택(perceived choice), 압박/긴장(pressure/tension)의 네 가지 내재적 동기 하위 요인에 해당하는 설문 항목들의 평균을 계산하여 비교했다. Table 4는 네 가지 내재적 동기 하위 요인에 대한 설명과 해당하는 IMI 항목들의 번호를 보여준다. 2, 9, 11, 14, 19, 21 항목 번호 뒤의 (R)은 해당 문장이 부정적으로 표현되어 계산 시 역산(reverse-scoring)해야 한다는 의미이다.

Table 4. Four intrinsic motivation attributes of the IMI

Attribute	Description	UEQ Item No.
Interest/enjoyment	Measures a person's enjoyment and interest in the activity.	1, 5, 8, 10, 14(R), 17, 20

Table 4. Four intrinsic motivation attributes of the IMI (Continued)

Attribute	Description	UEQ Item No.
Perceived competence	Measures a person's feeling of being skilled and capable of performing the activity.	4, 7, 12, 16, 22
Perceived choice	Measures a person's feeling of having autonomy and control over their participation.	3, 11(R), 15, 19(R), 21(R)
Pressure/tension	Measures a person's feeling of pressure and tension during the activity.	2(R), 6, 9(R), 13, 18

EEQ의 경우 20개 항목으로 구성되어 있으며, 몰입(Immersion), 내재적 보람을 주는 활동(Intrinsically Rewarding Activity), 조작(Control), 운동(Exercise)의 네 가지 엑서게임 즐거움 하위 요인으로 나뉘어져 있다. Table 5은 네 가지 엑서게임 즐거움 하위 요인에 대한 설명과 해당하는 EEQ 항목들의 번호를 보여준다. 마찬가지로 4, 6, 9, 10, 11, 13, 18, 19 항목 번호 뒤의 (R)은 해당 문장이 부정 문항이므로 계산 시 역산(reverse-scoring)해야 한다는 의미이다.

Table 5. Four exergame enjoyment attributes of the EEQ

Attribute	Description	UEQ Item No.
Immersion	Measures the degree to which a player feels deeply engaged in the game while remaining aware of their physical surroundings.	3, 5, 8, 12, 18(R)
Intrinsically rewarding activity	Measures the degree to which a player feels satisfied from overcoming the game's challenges with their skill and competence.	11(R), 15, 16
Control	Measures the degree to which a player feels they can directly influence the game's outcome.	4(R), 7, 17, 20
Exercise	Measures the degree to which a player perceives the physical activity required by the exergame.	1, 2, 6(R), 9(R), 10(R), 13(R), 14, 19(R)

기존 목 운동과 NexerciseVR 조건 간 IMI 하위 요인 점수의 차이를 비교하기 위해 대응표본 t-검정(Paired t-test)을 실시하였다. 통계 분석에 앞서, 두 조건 간 점수 차이에 대한 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)을 통해 정규성 가정을 확인하였으며, 모든 하위 요인에서 정규성 가정이 충족되었다. 통계 분석은 0.05의 유의 수준에서 R 4.4.2와 rstatix 패키지(Kassambara, 2023)를 사용하여 분석하였다.

3. Results

3.1 Intrinsic motivation

Figure 5는 기존 목 운동과 NexerciseVR 그룹별 IMI 하위 요인에 대한 주관적 평가 점수 분포를 보여준다(설문 항목은 Table 1 참조). 분석 결과, 흥미/즐거움(Interest/Enjoyment) 요인에서 두 조건 간 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다($t(19) = -8.35$, $p < .001$). 이는 NexerciseVR을 활용한 목 운동이 기존 목 운동에 비해 참가자에게 더 큰 흥미와 즐거움을 제공했음을 시사한다. 또한, 인지된 능력(Perceived competence) 요인에서는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다($t(19) = -1.84$, $p = .325$). 반면, 인지된 선택(Perceived choice) 요인은 NexerciseVR 조건이 기존 목 운동보다 유의미하게 높게 나타났다($t(19) = -3.75$, $p = .005$). 압박/긴장(Pressure/tension) 요인에서는 두 조건 간 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다($t(19) \approx 0$, $p \approx 1.00$).

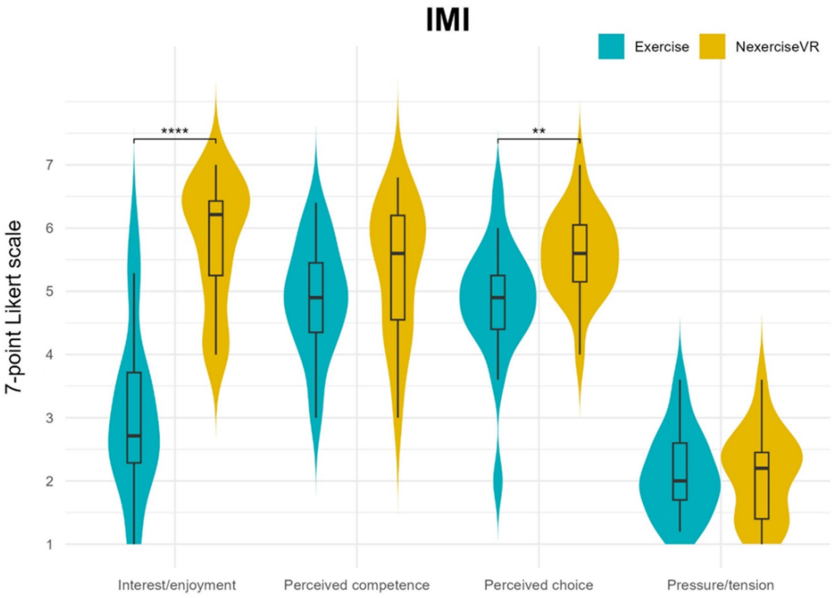

Figure 5. Subjective evaluation ratings by Intrinsic Motivation Inventory. *p < .05, **p < .01, ***p < .001, ****p < .0001

3.2 Exergame enjoyment

Figure 6는 NexerciseVR에 대한 추가 설문인 EEQ의 엑서게임 즐거움 하위 요인별 주관적 평가 점수의 평균과 표준편차를 보여준다 (설문 항목은 Table 2 참조). 전반적으로 모든 하위 요인의 평균 점수는 5점 리커트 척도의 중간값인 3점을 상회하는 높은 점수를 기록했다. 몰입(Immersion) (M = 3.88, SD = 0.52), 내재적 보람을 주는 활동(Intrinsically Rewarding Activity) (M = 4.12, SD = 0.46), 조작(Control) (M = 4.34, SD = 0.37), 운동(Exercise) (M = 4.18, SD = 0.43) 등 모든 하위 요인에서 높은 점수를 보였다.

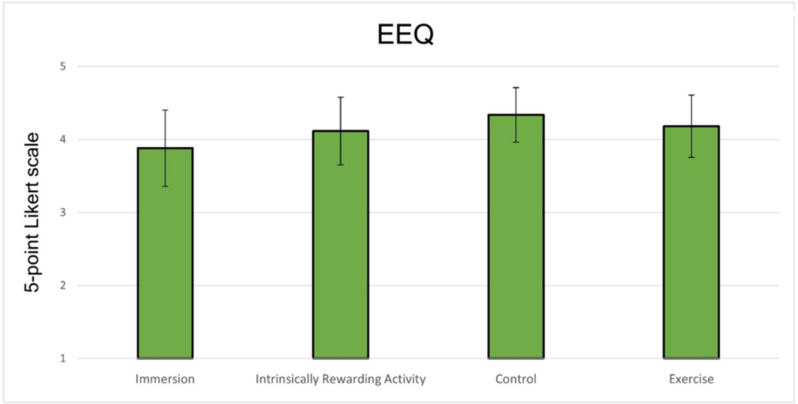

Figure 6. Mean (± SD) EEQ ratings for four exergame enjoyment of NexerciseVR

3.3 Participant interview

Figure 7는 실험 종료 후 실시한 인터뷰의 정량적 응답 결과를 보여준다. 첫 번째 질문인 '게임을 통해서 목 운동을 하는 것이 재밌

었나요?'에는 참가자 20명 전원이 '네'라고 답변했다. 두 번째 질문인 '게임의 개선할 점 혹은 추가했으면 좋을 것 같은 점이 있을까요?'에는 참가자 20명 중 13명이 '네'라고 답변했고 나머지 7명은 '아니오'라고 답변했다. 세 번째 질문인 '이 게임이 목 운동을 꾸준히 하는 데 도움이 될 것 같다고 생각하시나요?'에는 참가자 20명 중 5명은 '네'라고 답변했고, 12명은 조건부 긍정(부분적인 동의)이라고 답변했고 나머지 3명은 '아니오'라고 답변했다.

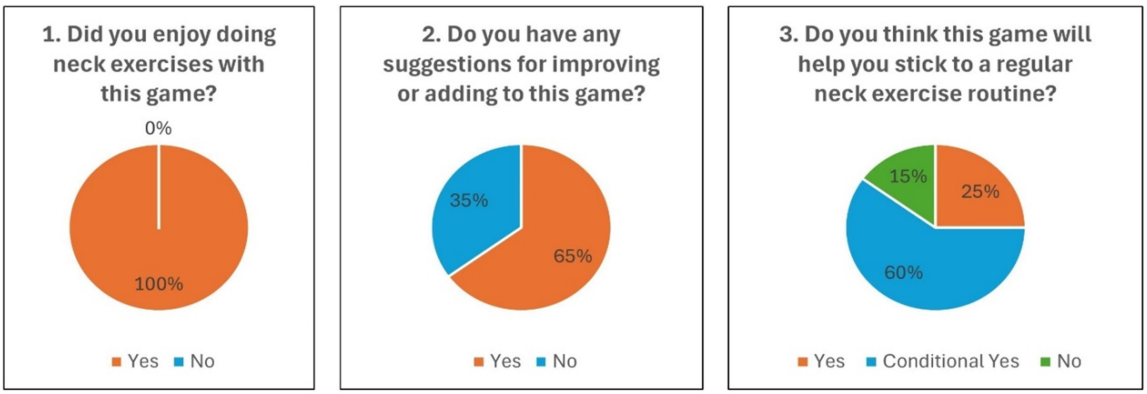

Figure 7. Pie chart of participants' interview

4. Discussion

4.1 Intrinsic motivation inventory

본 연구의 가장 두드러진 결과는 NexerciseVR이 기존 목 운동에 비해 흥미/즐거움(Interest/Enjoyment) 요인에서 월등히 높은 점수를 기록했다는 점이다. 이는 전통적 재활 운동이 갖는 단조로움과 반복성이 환자의 순응도를 저해하는 주요 원인임을 지적한 연구들(Gormley, 2005; Gross et al., 2015; Ylinen, 2007)과 일치하는 결과로, VR 게임 형태로 제작된 목 운동이 반복적인 재활 운동을 매우 즐거운 경험으로 전환시키는 데 탁월한 효과가 있음을 명백히 보여준다. 이러한 높은 즐거움의 원인은 인터뷰를 통해 크게 두 가지로 구체화되었다. 첫째, 서사 중심의 게임화 요소이다. P01은 "이야기 구성이 잘 되어 있어서 재밌었다."고 응답하며 서사 중심의 구조가 운동에 대한 재미를 제공했다고 밝혔다. P05, P07, P11, P15, P18, P20은 "주어진 퀘스트를 완료하는 게 재밌었다."고 응답하며 명확한 목표가 운동에 대한 재미에 영향이 있었다고 응답했다. 둘째, 몰입 및 시각적 경험이다. P04는 "아기자기하고 예쁜 그래픽을 보는 재미가 있었다."이라 응답했고, P09는 "시각적 요소가 풍부해서 재밌게 느껴졌다."라고 응답하였는데 시각적 만족감이 운동의 지루함을 상쇄하고 재미를 느끼게 하는 핵심 요인으로 작용했음을 시사한다. 이는 VR의 몰입적 특성과 게임 메커니즘이 사용자의 필요를 충족시키고 내적 동기를 증진시킨다는 선행 연구 결과(Huang et al., 2019; Reer et al., 2022)와도 일치한다. 흥미/즐거움(Interest/enjoyment)은 내재적 동기를 자기 보고(self-report) 방식으로 측정하는 핵심 지표이므로 이러한 결과는 큰 의미를 갖는다.

흥미/즐거움(Interest/enjoyment) 요인과 더불어 인지된 선택(Perceived choice) 요인에서도 NexerciseVR 조건이 유의미하게 높은 점수를 보였다. 이 결과는 자기 결정 이론(Self-Determination Theory)에서 내재적 동기의 핵심 욕구로 강조하는 자율성(Autonomy)을 NexerciseVR이 효과적으로 충족시켰음을 시사한다(Ryan and Deci, 2000). 기존 목 운동 방식이 정해진 영상을 수동적으로 따라 하는 일방향적 경험인 반면, VR 환경은 능동적인 상호작용을 가능하게 했다. P05는 "주변을 본다거나 상호작용이 가능해서 재밌었다."고 응답하며 자신의 의지에 따라 환경을 탐색하고 반응을 이끌어내는 경험을 긍정적으로 평가했다. 또한, P13의 "어떻게 나올지 모르는 랜덤이라 재밌었던 것 같다."는 응답은 예측 불가능한 게임 요소가 정형화된 운동의 틀에서 벗어나 더 큰 자유도를 느끼게 했음을 보여준다.

반면 인지된 능력(Perceived competence)과 압박/긴장(Pressure/tension) 요인에서는 기존 목 운동 조건과 NexerciseVR 조건 간에 유의

미한 차이가 나타나지 않았다. 인지된 능력(Perceived competence)에 대해서는 종료 인터뷰의 2번 질문 "게임의 개선할 점 혹은 추가했으면 좋을 것 같은 점 있을까요?"에 대해 "네"라고 응답한 참가자를 대상으로 진행된 후속 질문 "어느 점을 개선하거나 추가하면 좋을까요?"에 대한 답변에서 단서를 찾을 수 있었다. P17은 "게임이 단조롭다. 조금 더 어려웠으면 좋았을 것 같다."고 응답했고, P15는 "턱 당기기에서 어느 정도 고개를 숙일 수밖에 없어서 동작 정확도 측면에서 아쉬웠다."고 응답했다. 이는 게임이 사용자의 운동 수행에 대한 구체적이고 강화된 피드백을 충분히 제공하지 못했을 가능성을 시사한다. 가상 현실 재활 시스템에서 정밀한 측정과 피드백은 치료사가 운동 과정을 효과적으로 모니터링하고 개인화된 프로그램을 제공하는 데 필수적이므로(Mihajlovic et al., 2018), 향후 연구에서는 사용자가 자신의 수행 능력 향상을 체감할 수 있도록 적응형 난이도 조절 기능이나 명확한 시각적 피드백 시스템(Chen et al., 2017)을 강화할 필요가 있다. 또는 목 운동 자체가 기술적 숙련을 요하는 복잡한 과제가 아니기 때문에 '인지된 능력(Perceived competence)'이라는 요인이 애초에 두 조건 간의 차이를 감지하기에 둔감했을 가능성도 고려해볼 수 있다.

압박/긴장(Pressure/tension)은 내재적 동기의 부정적인 예측 변수이기 때문에 게임적 요소가 추가되었음에도 이 수치가 증가하지 않았다는 것은 긍정적인 결과이다. 이는 NexerciseVR의 게임화가 사용자의 동기를 유발하면서도, 경쟁이나 실패에 대한 부담감 같은 부정적인 스트레스로 작용하지 않았음을 의미한다. 이는 VR이 만성 통증 치료 시 환자의 주의를 통증이나 불편함으로부터 분산시키고 긍정적인 경험을 제공하는 효과적인 중재 수단이 될 수 있다는 연구(Indovina et al., 2018; Preim et al., 2023)와도 맥을 같이 한다. 특히 재활 및 건강 증진 목적의 콘텐츠에서 과도한 압박감은 오히려 부상이나 중도 포기를 유발할 수 있기에, 즐거움은 높이면서 심리적 부담은 주지 않는 균형 잡힌 설계가 중요함을 확인했다.

4.2 Exergame enjoyment questionnaire

NexerciseVR 조건에 대한 EEQ 분석 결과는 IMI을 통해 확인된 높은 내재적 동기의 구체적인 구성 요소를 보여준다. 특히 참가자들은 조작(Control) 항목에서 가장 높은 점수를 부여했는데, 이는 NexerciseVR의 사용자 인터페이스가 직관적이고 반응성이 높아 사용자가 자신의 움직임을 효과적으로 제어하고 있다고 느꼈음을 의미한다. 이는 VR 기술과 게임의 즐거움에 있어 자연스러운 매핑과 욕구 충족의 기여도를 강조한 선행 연구와도 맥을 같이 한다. 이러한 높은 통제감은 IMI의 인지된 선택(Perceived choice) 요인을 뒷받침하는 핵심적인 기반으로, 사용자가 시스템을 자유롭게 제어할 수 있다는 믿음이 자율성의 경험으로 이어진 것으로 분석된다. 이는 Ryan and Deci (2020)의 자기 결정 이론에서 제시하는 자율성과 유능감의 충족이 내재적 동기와 즐거움을 강화한다는 주장을 실증적으로 지지한다. 비슷하게 Fitzgerald et al. (2020)의 EEQ 검증 연구에서도 통제감과 몰입이 엑서게임의 즐거움을 가장 강하게 예측하는 요인으로 확인된 바 있다.

또한, 내재적 보람을 주는 활동(Intrinsically Rewarding Activity)과 운동(Exercise) 점수가 모두 높게 나타난 것은, 참가자들이 NexerciseVR을 즐거운 놀이 활동이자 효과적인 운동으로 동시에 인식했음을 보여주는 성공적인 결과이다. 이러한 경향은 Huang et al. (2019)이 가상 학습 환경에서 확인한 것처럼, 자율성, 유능감, 관계성이 모두 충족될 때 사용자의 몰입과 학습 성과가 극대화된다는 결과와도 일치한다. Reer et al. (2022)는 자연스러운 조작과 VR 환경에서의 상호작용적 피드백이 즐거움과 몰입감을 높여 운동 지속 의도를 강화한다고 보고하였으며, NexerciseVR의 높은 조작 점수는 이러한 메커니즘이 작동했음을 시사한다. 또한 Lu (2015)가 제안한 바와 같이, 게임 내 내러티브적 요소는 단순한 신체 활동을 '의미 있는 경험'으로 변환시켜 내재적 보상을 증폭시키는데, NexerciseVR의 스토리 기반 미션 구조가 이 효과를 부분적으로 구현한 것으로 해석된다.

4.3 Extra qualitative insights from participant interview

NexerciseVR이 목 운동의 꾸준한 실천에 도움이 될 것인지에 대한 질문에 대해 참가자들은 긍정, 조건부 긍정, 부정의 의견이 혼재된 양상을 보였다. 참가자 20명 중 5명만이 명확한 긍정을 표했으며, 3명은 명확한 부정을 표했다. 가장 주목할 점은 과반수가 넘는 12명의 참가자들이 특정한 조건이 충족될 때만 도움이 될 것이라는 '조건부 동의'의 입장을 보였다는 것이다. 이는 NexerciseVR이 단기적인 흥미를 유발하는 데는 성공했지만 현재 상태 그대로는 장기적인 운동 습관으로 이어지기 어렵다는 참가자들의 현실적인 평가를 보여준다.

참가자들이 제시한 핵심 조건은 콘텐츠의 지속적인 확장성이었다. P01, P07, P13, P17은 "배경이 다양하면(혹은 일정주기로 바뀌면)

꾸준히 하기 좋을 것 같다." 이라고 응답했고, P18은 "보상 체계가 더 있어야 할 것 같다. 게임 속의 재화(혹은 아이템)나 '링 피트 어드벤처(Ring Fit Adventure) (Nintendo, 2019)'처럼 계속 이어지는 스토리가 있으면 좋을 것 같다." 이라고 응답했다. 현재 제공되는 스토리와 게임 방식이 매우 흥미롭다는 점에는 동의하지만, 이것이 유한하기에 반복 플레이 시 결국 지루해질 것이라는 우려가 지배적이었다. 이는 '게임 내 보상 구조'가 장기적인 참여 유지의 핵심 요인임을 보여주며, 이는 Godin et al. (1994)와 Gormley (2005)가 지적한 '운동 지속의 주요 장벽 중 하나가 내적 동기의 감소'라는 점과 맞닿는다. 그 외에도 P20은 "게임 에셋이 유치해서 어린아이들 입장에서 꾸준히 할 수 있을 것 같은데 성인 기준에서는 큰 동기를 느끼기는 어려울 것 같다." 이라고 지적했다. 이는 Lu (2015)가 논의한 이용자 연령별 서사 적합성 문제로 해석할 수 있다. 즉, 콘텐츠가 사용자의 문화적, 연령적 스키마와 맞지 않으면 몰입감이 급격히 감소하여 장기적 유지가 어렵다.

다른 응답으로 P05는 "3D 멀미가 있는 사람이면 게임에 적응하기 힘들 것 같다.", P10은 "목을 젖히는 동작을 했을 때 VR 기기의 하중이 더해져서 안 좋을 수도 있을 것 같다. 어느 정도 젖혀야 하는지 이상치를 제시하면 좋을 것 같다.", P19는 "VR 기기의 무게가 조금만 더 가벼워지면 주기적으로 하는데 도움이 될 것 같다."라고 응답하며 VR 기기의 하드웨어 특성을 장기적인 사용을 저해할 수 있는 물리적 장벽으로 지적했다. 이러한 피드백은 Chen et al. (2014, 2017)의 연구에서 보고된 바와 같이, VR 장비의 무게, 시야 지연, 시각 피드백 왜곡 등이 경추부 운동의 정확성과 피로에 직접적인 영향을 미친다는 점을 재확인시켜준다. Nusser et al. (2021)과 Guo et al. (2024) 또한 VR 기반 경부 재활에서 하드웨어 인체공학적 요소가 순응도에 결정적인 영향을 미친다고 보고했다.

4.4 Limitations and future directions

본 연구는 다음과 같은 한계를 가진다. 첫째, 연구의 단기적 설계와 표본의 한계이다. 본 연구는 단일 세션 실험으로 참가자들의 NexerciseVR에 대한 긍정적인 평가를 얻을 수 있었지만, 이러한 평가가 장기적인 운동 습관 형성으로 이어질지를 직접적으로 보여주지는 못한다. 또한, 본 연구는 건강한 성인을 중심으로 진행되었으므로, 만성적인 목 통증을 겪는 실제 환자 집단에게 본 연구의 결과를 동일하게 적용하기에는 한계가 있다. 이에 대해 향후에 실제 만성 목 통증 환자를 대상으로 수 주 이상에 걸친 장기 추적 연구를 진행하여, 시간에 따른 동기 변화, 실제 순응도, 그리고 통증 감소와 같은 임상적 유효성을 검증하는 과정이 필요하다.

둘째, 현재 프로토타입은 장기적인 사용을 담보할 콘텐츠의 깊이와 개인화 요소가 부족하다. 참가자들의 지적처럼 단일한 시각적 테마와 한정된 콘텐츠는 반복 사용 시 필연적으로 지루함을 유발한다. 따라서 향후 연구에서는 링 피트 어드벤처와 같은 성공 사례를 벤치마킹 하여 연속적인 서사와 게임 내 재화 같은 적절한 보상 체계를 구축하고, 사용자가 연령과 취향에 맞춰 시각적 테마를 직접 선택할 수 있는 커스터마이징 기능의 효과를 검증할 필요가 있다.

셋째, VR 기기 자체의 무게와 사용의 번거로움 등은 기술 자체에서 기인하는 근본적인 사용성의 한계로 작용했다. 간단한 운동을 위해 기기를 착용하고 실행해야 하는 과정이 꾸준한 사용을 방해하는 심리적 장벽이 될 수 있다. 이에 대한 장기적인 해결책으로, 향후 더 가볍고 접근성이 높은 스마트 글래스 등 차세대 하드웨어의 발전에 맞추어 동일한 소프트웨어를 다양한 플랫폼에 적용하고, 그에 따른 사용성 개선이 장기적인 순응도에 미치는 영향을 비교 분석하는 연구가 필요하다.

5. Conclusion

본 연구는 전통적인 목 운동의 단조로움과 낮은 지속 동기 문제를 해결하기 위해, 서사적 구조와 게임화 요소를 결합한 VR 기반 엑서게임 NexerciseVR을 설계·개발하고 그 사용성 및 동기적 효과를 검증하였다. NexerciseVR은 단순한 재활 훈련의 반복을 게임적 서사와 상호작용적 경험으로 전환함으로써, 사용자의 내재적 동기를 강화하고 자발적 참여를 유도하는 새로운 접근 방식을 제시하였다.

실험 결과, NexerciseVR을 통한 목 운동은 기존의 일반 목 운동에 비해 흥미/즐거움과 인지된 선택 요인에서 유의미하게 높은 점수를 기록하였다. 이는 서사와 상호작용 중심의 게임 메커니즘이 사용자의 자율성과 몰입을 촉진하여, 운동 수행을 보다 긍정적이고 의미 있는 경험으로 전환시켰음을 보여준다. 또한, 엑서게임 즐거움 척도(EEQ) 분석에서도 참가자들은 NexerciseVR을 조작의 용이성과 반응성 측면에서 높이 평가하였으며, 이를 통해 운동을 놀이와 유사한 즐거운 활동으로 인식하였다. 정성적 인터뷰에서는 NexerciseVR이 단기적으로 높은 흥미를 유발하지만, 장기적 사용을 위해서는 콘텐츠 다양화, 보상 체계 강화, 맞춤형 시각 테마 등의 개선이 필요

하다는 의견이 제시되었다. 이러한 결과는 향후 VR 기반 재활 시스템의 설계에서 서사적 몰입, 보상 구조, 개인화 요소의 중요성을 시사한다.

종합하면, NexerciseVR은 단조로운 재활 운동을 흥미롭고 지속 가능한 경험으로 전환할 수 있는 유망한 디지털 헬스케어 도구로 평가된다. 향후 연구에서는 만성 목 통증 환자 대상의 장기 추적 실험과, 스마트 글래스 등 차세대 하드웨어 환경에서의 적용 가능성을 검증함으로써 그 임상적 및 실용적 가치를 확장할 필요가 있다.

Acknowledgement

This work was supported by 2024 Research Grant from Kangwon National University, Innovative Human Resource Development for Local Intellectualization program through the Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (IITP-2025-RS-2023-00260267), the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2024-00343882, RS-2023-00242528).

References

Abbas, M., Qamar, S. ul, Habib, M., Hanif, M., Masood, S. and Usman, H., A study to compare the effectiveness of McKenzie neck exercise and contract relax stretching in mechanical neck pain, *Journal of Health and Rehabilitation Research*, 4(2), 1629-1633, 2024. doi:10.61919/jhrr.v4i2.1195.

Alhazmi, M.H., Khired, Z., Alhazmi, M.A., Zogel, B., Darraj, H., Hakami, S.M., Qahl, S.M., Hakami, K.M., Hadadi, O. and Mobarki, O., The impact of neck pain on work productivity and quality of life among office workers in Jazan: A cross-sectional study, *Cureus*, 16(12), e76254, 2024. doi:10.7759/cureus.76254.

Burdea, G., Popescu, V., Hentz, V. and Colbert, K., Virtual reality-based orthopedic telerehabilitation, *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 8(3), 430-432, 2000. doi:10.1109/86.867886.

Cao, S. and Liu, F., A project-based study on user guidance for interaction design, In *Cross-Cultural Design: Experience and Product Design Across Cultures*, 12771 (pp. 3-13), Springer, 2021. doi:10.1007/978-3-030-77074-7_1.

Cetin, H., Kose, N. and Oge, H.K., Virtual reality and motor control exercises to treat chronic neck pain: a randomized controlled trial, *Musculoskeletal Science and Practice*, 62, 102636, 2022. doi:10.1016/j.msksp.2022.102636.

Chen, K.B., Ponto, K., Sesto, M.E. and Radwin, R.G., Influence of altered visual feedback on neck movement for a virtual reality rehabilitative system, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 693-697, 2014. doi: 10.1177/1541931214581162.

Chen, K.B., Sesto, M.E., Ponto, K., Leonard, J., Mason, A., Vanderheiden, G., Williams, J. and Radwin, R.G., Use of virtual reality feedback for patients with chronic neck pain and kinesiophobia, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(8), 1240-1248, 2017. doi:10.1109/TNSRE.2016.2621886.

Chen, Y.J., Hu, C.Y., Wu, W.T., Lee, R.P., Peng, C.H., Yao, T.K., Chang, C.M., Chen, H.W. and Yeh, K.T., Association of smartphone overuse and neck pain: a systematic review and meta-analysis, *Postgraduate Medical Journal*, 101(1197), 620-626, 2025. doi: 10.1093/postmj/qgae200.

Fandim, J.V., Nitzsche, R., Michaleff, Z.A., Pena Costa, L.O. and Saragiotto, B., The contemporary management of neck pain in adults, *Pain Management*, 11(1), 75-87, 2021. doi:10.2217/pmt-2020-0046.

Fitzgerald, A., Huang, S., Sposato, K., Wang, D., Claypool, M. and Agu, E., The Exergame Enjoyment Questionnaire (EEQ): An instrument for measuring exergame enjoyment, *Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 3397, 2020. doi:10.24251/HICSS.2020.416.

Gingold, C., What WarioWare can teach us about game design, *International Journal of Computer Game Research*, 5(1), 2005. https://www.gamestudies.org/0501/gingold/ (retrieved September 11, 2025).

Godin, G., Desharnais, R., Valois, P., Lepage, L., Jobin, J. and Bradet, R., Differences in perceived barriers to exercise between high and low intenders: observations among different populations, *American Journal of Health Promotion*, 8(4), 279-285, 1994. doi:10.4278/0890-1171-8.4.279.

Gormley, J., Adherence to exercise, In J. Gormley and J. Hussey (Eds.), *Exercise Therapy: Prevention and Treatment of Disease*, 228-239, Blackwell Publishing Ltd., 2005.

Gross, A., Kay, T.M., Paquin, J.P., Blanchette, S., Lalonde, P., Christie, T., Dupont, G., Graham, N., Burnie, S.J., Gelley, G., Goldsmith, C.H., Forget, M., Hoving, J.L., Brønfort, G. and Santaguida, P.L., Exercises for mechanical neck disorders, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1(1), 2015. doi:10.1002/14651858.CD004250.pub5.

Guo, Q., Zhang, L., Han, L.L., Gui, C., Chen, G., Ling, C., Wang, W. and Gao, Q., Effects of virtual reality therapy combined with conventional rehabilitation on pain, kinematic function, and disability in patients with chronic neck pain: randomized controlled trial, *JMIR Serious Games*, 12, e42829, 2024. doi:10.2196/42829.

Haryana, M.R.A., Warsono, S., Achjari, D. and Nahartyo, E., Virtual reality learning media with innovative learning materials to enhance individual learning outcomes based on cognitive load theory, *The International Journal of Management Education*, 20(3), 100657, 2022. doi:10.1016/j.ijme.2022.100657.

Hinyard, L.J. and Kreuter, M.W., Using narrative communication as a tool for health behavior change: a conceptual, theoretical, and empirical overview, *Health Education & Behavior*, 34(5), 777-792, 2007. doi:10.1177/1090198106291963.

Holden, M.K., Virtual environments for motor rehabilitation: review, *Cyberpsychology & Behavior*, 8(3), 187-211, 2005. doi:10.1089/cpb.2005.8.187.

Huang, Y.C., Backman, S.J., Backman, K.F., McGuire, F.A. and Moore, D., An investigation of motivation and experience in virtual learning environments: a self-determination theory, *Education and Information Technologies*, 24(1), 591-611, 2019. doi:10.1007/s10639-018-9784-5.

Indovina, P., Barone, D., Gallo, L., Chirico, A., de Pietro, G. and Giordano, A., Virtual reality as a distraction intervention to relieve pain and distress during medical procedures, *The Clinical Journal of Pain*, 34(9), 858-877, 2018. doi:10.1097/AJP.0000000000000599.

Intrinsic Motivation Inventory (IMI) Scale Description, https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/ (retrieved September 11, 2025).

Kassambara, A., *rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests* (Version 0.7.2) [R package], https://CRAN.R-project.org/package=rstatix (retrieved September 11, 2025).

Kazeminasab, S., Nejadghaderi, S.A., Amiri, P., Pourfathi, H., Araj-Khodaei, M., Sullman, M.J.M., Kolahi, A.A. and Safiri, S., Neck pain: global epidemiology, trends and risk factors, *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23(1), 26, 2022. doi:10.1186/s12891-021-04957-4.

Lauche, R., Stumpe, C., Fehr, J., Cramer, H., Cheng, Y.W., Wayne, P.M., Rampp, T., Langhorst, J. and Dobos, G., The effects of Tai Chi and neck exercises in the treatment of chronic nonspecific neck pain: a randomized controlled trial, *Journal of Pain*, 17(9), 1013-1027, 2016. doi:10.1016/j.jpain.2016.06.004.

Lee, J., Lee, M., Lim, T., Kim, T., Kim, S., Suh, D., Lee, S. and Yoon, B., Effectiveness of an application-based neck exercise as a pain management tool for office workers with chronic neck pain and functional disability: a pilot randomized trial, *European Journal of Integrative Medicine*, 12, 87-92, 2017. doi:10.1016/j.eujim.2017.04.012.

Lu, A.S., Narrative in exergames: thoughts on procedure, mechanism, and others, *Games for Health Journal*, 4(1), 19-24, 2015. doi:10.1089/g4h.2014.0090.

Markopoulos, P., Shen, X., Wang, Q. and Timmermans, A., Neckio: motivating neck exercises in computer workers, *Sensors (Basel)*, 20(17), 4928, 2020. doi:10.3390/s20174928.

Mihajlovic, Z., Popovic, S., Brkic, K. and Cosic, K., A system for head-neck rehabilitation exercises based on serious gaming and virtual reality, *Multimedia Tools and Applications*, 77(15), 19113-19137, 2018. doi:10.1007/s11042-017-5328-z.

Mullen, S.P., Olson, E.A., Phillips, S.M., Szabo, A.N., Wójcicki, T.R., Mailey, E.L., Gothe, N.P., Fanning, J.T., Kramer, A.F. and McAuley, E., Measuring enjoyment of physical activity in older adults: invariance of the Physical Activity Enjoyment Scale (PACES) across groups and time, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8, 103, 2011. doi:10.1186/1479-5868-8-103.

Nelson, M. and Mateas, M., Towards automated game design, In *AIIA 2007: Artificial Intelligence and Human-Oriented Computing*, 4733 (pp. 626-637), Springer, 2007. doi:10.1007/978-3-540-74782-6_54.

Nintendo, *Ring Fit Adventure* [Video game], Nintendo Switch, 2019.

Nintendo, *WarioWare: Move It!* [Video game], Nintendo Switch, 2023.

Nusser, M., Kramer, M., Knapp, S. and Krischak, G., Effects of virtual reality-based neck-specific sensorimotor training in patients with chronic neck pain: a randomized controlled pilot trial, *Journal of Rehabilitation Medicine*, 53(2), jrm00151, 2021. doi:10.2340/16501977-2786.

Orr, E., Arbel, T., Levy, M., Sela, Y., Weissberger, O., Liran, O. and Lewis, J., Virtual reality in the management of patients with low back and neck pain: a retrospective analysis of 82 people treated solely in the metaverse, *Archives of Physiotherapy*, 13(1), 11, 2023. doi:10.1186/s40945-023-00163-8.

Preim, B., Raidou, R., Smit, N. and Lawonn, K., Virtual reality in treatment and rehabilitation, In *Visualization, Visual Analytics and Virtual Reality in Medicine*, 449-476, Academic Press, 2023. doi:10.1016/B978-0-12-822962-0.00024-9.

Reer, F., Wehden, L.O., Janzik, R., Tang, W.Y. and Quandt, T., Virtual reality technology and game enjoyment: the contributions of natural mapping and need satisfaction, *Computers in Human Behavior*, 132, 107242, 2022. doi:10.1016/j.chb.2022.107242.

Rezaei, I., Razeghi, M., Ebrahimi, S., Kayedi, S. and Rezaeian Zadeh, A., A novel virtual reality technique (Cervigame®) compared to conventional proprioceptive training to treat neck pain: a randomized controlled trial, *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 9(3), 355-366, 2018. doi:10.31661/jbpe.v0i0.556.

Ryan, R.M. and Deci, E.L., Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being, *American Psychologist*, 55(1), 68-78, 2000. doi:10.1037/0003-066X.55.1.68.

Sarig Bahat, H., Takasaki, H., Chen, X., Bet-Or, Y. and Treleaven, J., Cervical kinematic training with and without interactive VR training for chronic neck pain: a randomized clinical trial, *Manual Therapy*, 20(1), 68-78, 2015. doi:10.1016/j.math.2014.06.008.

Shah, A., Bhut, D., Prajapati, M., Shah, V., Mangrulkar, R. and Narvekar, M., Improving workstation ergonomics using posture detection for corporate professionals, *Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Blockchain and Distributed Systems Security (ICBDS)*, Pune, India, 1-6, 2024. doi:10.1109/ICBDS61829.2024.10837459.

Tejera, D.M., Beltran-Alacreu, H., Cano-De-la-Cuerda, R., Hernández, J.V.L., Martín-Pintado-Zugasti, A., Calvo-Lobo, C., Gil-Martínez, A. and Fernández-Carnero, J., Effects of virtual reality versus exercise on pain, functional, somatosensory, and psychosocial outcomes in patients with non-specific chronic neck pain: a randomized clinical trial, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 1-19, 2020. doi:10.3390/ijerph17165950.

Tunwattanapong, P., Kongkasuwan, R. and Kuptniratsaikul, V., The effectiveness of a neck and shoulder stretching exercise program among office workers with neck pain: a randomized controlled trial, *Clinical Rehabilitation*, 30(1), 64-72, 2016. doi:10.1177/0269215515575747.

Williams, M.A., McCarthy, C.J., Chorti, A., Cooke, M.W. and Gates, S., A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 33(2), 138-155, 2010. doi:10.1016/j.jmpt.2009.12.009.

Ylinen, J., Physical exercises and functional rehabilitation for the management of chronic neck pain, *Europa Medicophysica*, 43(1), 119-132, 2007.

Ylinen, J., Kautiainen, H., Wirén, K. and Häkkinen, A., Stretching exercises vs manual therapy in treatment of chronic neck pain: a randomized, controlled cross-over trial, *Journal of Rehabilitation Medicine*, 39(2), 126-132, 2007. doi:10.2340/16501977-0015.

Youssef, A.R., Gumaa, M. and Al-Kabbany, A., Necknasium: a virtual reality rehabilitation game for managing faulty neck posture, *arXiv preprint*, 2023. doi:arXiv:2312.14371.

Author listings

Jihae Yu: vievanitas@kangwon.ac.kr
Highest degree: BS, Department of Electronics Engineering, Kangwon National University

Position title: MS Student, Graduate School of Data Science, Kangwon National University
Areas of interest: Human-Computer Interaction, Usability Evaluation

Hyunok Lee: holee@kangwon.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Science Education, Ewha Womans University
Position title: Assistant Professor, Division of Liberal Studies, Kangwon National University
Areas of interest: Education on Socio-scientific Issues, Nature of Science and Technology

Dayoung Lee: dayoung08@kangwon.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Computer Science and Engineering, Inha University
Position title: Assistant Professor, Department of Computer Science and Engineering, Kangwon National University
Areas of interest: System Architecture, Multimedia System

Woojoo Kim: woojoo.kim@kangwon.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial and Systems Engineering, KAIST
Position title: Assistant Professor, Division of Liberal Studies, Kangwon National University
Areas of interest: Human-Computer Interaction, Usability Evaluation