

DERLEME

Boyun Ağrısı Tedavisinde Sanal Gerçeklik Uygulamaları*Burcu Ece KORKMAZ¹, Yeşim SALIK ŞENGÜL²***ÖZ**

Boyun ağrısı, bel ağrısından sonra ikinci sırada en çok görülen muskuloskeletal patolojidir. Kronik boyun ağrısı, bireyin davranışlarını, yaşam kalitesini, aile ve meslek yaşantısını önemli ölçüde etkileyen, hoş olmayan, duyuşsal ve duygusal bir deneyimdir ve her üç yetişkinden ikisinin hayatının bir döneminde boyun ağrısı yaşadığı bilinmektedir. Sanal gerçeklik (Virtual Reality-VR), kullanıcıların sanal mekanlarda gezinme ve bu mekanlardaki nesnelere manipüle etme izlenimine sahip olduğu yapay bir dünya yaratmak için kullanılan bir bilgi işlem sistemi olarak tanımlanır. VR teknolojileri, sanal bir ortamda fiziksel olarak bulunma algısı olarak tanımlanan imersiyon kavramı ve bu kavramın farklı alt tipleriyle sınıflandırılmaktadır. İmersiyon derecelerine göre sanal gerçeklik teknolojileri immersive, semi-immersive, non-immersive olarak üç kategoride incelenmektedir. Sanal gerçeklik teknolojilerinin ağrı üzerine temel etki mekanizması distraksiyon kavramıyla açıklanmaktadır. Kronik boyun ağrısı rehabilitasyonunda son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanan VR teknolojilerinin, ağrı, disabilite, postural kontrol ve denge, kinematik değişimler üzerine olumlu etkileri yapılan çalışmalarda bildirilmiştir. Bu derlemenin amacı, sanal gerçeklik teknolojilerinin kronik boyun ağrısı tedavisinde kullanım alanları ve amaçları, tedavi programlama için optimal doz ve sürenin belirlenmesi ve uygulamanın olası yan etkileri hakkında bilgi vererek ilerleyen çalışmalar için yol gösterici olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Boyun Ağrısı; Hareket Tutması; Rehabilitasyon; Sanal Gerçeklik

Virtual Reality Applications in Neck Pain Treatment*Burcu Ece KORKMAZ¹, Yeşim SALIK ŞENGÜL²***ABSTRACT**

Neck pain is the second most common musculoskeletal pathology after low back pain. Chronic neck pain is an unpleasant, sensory and emotional experience that significantly affects the behavior, quality of life, family and professional life of the individual, and it is known that two out of every three adults experience neck pain at some point in their lives. Virtual reality (VR) is defined as a computing system used to create an artificial world where users have the impression of navigating and manipulating objects in virtual spaces. VR technologies are classified by the concept of immersion, which is defined as the perception of being physically present in a virtual environment, and different subtypes of this concept. According to their immersion degrees, virtual reality technologies are examined in three categories as immersive, semi-immersive and non-immersive. The main mechanism of action of virtual reality technologies on pain is explained by the concept of distraction. The positive effects of VR technologies, which have been used frequently in the rehabilitation of chronic neck pain in recent years, on pain, disability, postural control and balance, and kinematic changes have been reported in studies. The purpose of this review is to provide information about the areas and purposes of use of virtual reality technologies in the treatment of chronic neck pain, the determination of the optimal dose and duration for treatment programming, and the possible side effects of the application, and to guide further studies.

Key Words: Motion Sickness; Neck Pain; Rehabilitation; Virtual Reality

¹Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İzmir Ekonomi Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
²Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

Sorumlu Yazar: Burcu Ece KORKMAZ

E-posta adresi: ecekrkmz6@gmail.com

Gönderi Tarihi: 28.07.2022

ORCID No: 0000-0003-3010-0144

Kabul Tarihi: 19.05.2023

GİRİŞ

Boyun ağrısı, bel ağrısından sonra ikinci sırada en çok görülen muskuloskeletal patolojidir(1). Genel popülasyondaki prevalansı %30-71 arasında değişir ve global disabiliteye katkı sağlayan dördüncü sıradaki nedendir (2,3). Her üç yetiştikten ikisinin hayatının bir döneminde boyun ağrısı yaşadığı bilinmektedir (4). Boyun ağrısı yaygın bir disabilite potansiyeli oluşturmakla birlikte, genellikle kişilerin semptomları kalıcı bir çözüme ulaşamaz (3,5). Kronik boyun ağrısı, bireyin davranışlarını, yaşam kalitesini, aile ve meslek yaşantısını önemli ölçüde etkileyen, hoş olmayan, duyuşsal ve duygusal bir deneyimdir. Tüm bu biyopsikososyal etkilerinin yanı sıra artan sağlık hizmetleri maliyetleri, azalan iş verimliliği, iş devamsızlık ile boyun ağrısı ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (2-5). Boyun ağrısının kronik bir soruna dönüşebilmesi ihtimalinin yüksek olması nedeniyle erken tanı ve tedavi için risk faktörlerinin belirlenmesi önemlidir (6). Boyun ağrısı için risk faktörleri psikolojik ve biyolojik olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir (7). Psikolojik faktörler stres, anksiyete, kognitif değişkenler, uyku problemleri, sosyal destek,

kişilik özellikleri olarak gösterilirken, biyolojik faktörler, nöromuskuloskeletal rahatsızlıklar, otoimmün hastalıklar, genetik faktörler, cinsiyet ve yaş olarak söylenebilir. İleri yaş, kadın cinsiyet, düşük sosyal destek, bel veya boyun ağrısı öyküsü, düşük fiziksel aktivite düzeyi, bilgisayar kullanım sürelerinin uzaması gibi etkenler boyun ağrısı riskini artırma açısından ön planda yer almaktadır (6,8-10)

Sanal gerçeklik (VR), kullanıcıların sanal mekanlarda gezinme ve bu mekanlardaki nesnelere manipüle etme izlenimine sahip olduğu yapay bir dünya yaratmak için kullanılan bir bilgi işlem sistemi olarak tanımlanır (11). Üç boyutlu, multisensoryal ve interaktif bir bilgisayar aracılı simülasyon ortamına atıfta bulunan bu teknoloji teriminin ilk kez adlandırılması 1989 yılında Jaron Lainer tarafından yapılmıştır. Lainer VR teknolojisi hakkında gözlük, eldiven gibi arayüz cihazlarının da kullanıldığı, duyuları veya zihni kandıran bir bilgisayar dünyası olduğunu söylemektedir (12). VR teknolojileri imersiyonun derecesine göre, non-immersive, semi-immersive ve immersive olarak üç kategoride incelenmektedir

(13). İmersiyon kavramı ise sanal bir ortamda fiziksel olarak bulunma algısı olarak tanımlanabilir

(14). Sanal gerçekliğin farklı alt tipleriyle inme (15), serebral palsi (16), yanık (17), parkinson hastalığında (18), Guillain Barre Sendromu (19), multipl skleroz (20) rehabilitasyonunda kullanıldığı yapılan çalışmalarda gösterilmiştir.

Sanal gerçeklik uygulamalarının boyun ağrısı rehabilitasyonu için ilk kez kullanımı, 2009 yılında servikosefalik kinesteziyi sanal gerçeklik test prosedürü ile değerlendirmek üzere geliştirilen bir yazılım ile başlamaktadır (21). Aynı yıl servikal hareketlerin sanal gerçeklik ortamında değerlendirilmesinin konvansiyonel yöntemlerle benzer sonuçlar verdiğini gösteren başka çalışmalar da yayınlanmıştır (22,23). Farklı yönlere uzanmayı veya hedefleri takip etmeyi sağlayan bir başka VR yazılımında baş ve boyun hareketlerinin değerlendirilmesi ve egzersiz olarak farklı senaryolar içerisinde uyarlanması sağlanmıştır (24). Harvie ve ark. görsel proprioseptif geribildirimler ile kullanıcının boyun mobilitesini artırmayı hedefleyen bir yazılım (25) oluşturduktan sonra, değişen beden hareket algısını kinematik bilgilerle düzenlemek için “Motor Offset

Visual Illusion” isimli bir başka VR tasarımı (26) daha geliştirmişlerdir. Nexercise adı verilen bir başka VR uygulamasında Kim ve ark. ilgi çekici görsel ve işitsel uyarıların bulunduğu bir sanal gerçeklik çevresinde boyun egzersizleri yapılmasını sağlayan bir oyun geliştirmişlerdir (27). Oyun sırasında kişinin, arka plandan gelen müzikle birlikte farklı yönlerden gönderilen sinyalleri takip etmesi gerekmektedir. Mihajlovic ve ark. boyun hareketlerinin değerlendirilmesi ve egzersizleri için iki ayrı bölümden oluşan bir VR yazılımı tasarlamışlardır (28). İlk bölüm sistem kurulumu ve kalibrasyonu içerirken ikinci bölüm exergame (oyun) kısmını içermektedir. Bu, iki bölümlü tasarım kullanıcının ilk bölümde oluşturduğu boyun eklem hareket açıklığı verilerini analiz ederek ikinci bölümde kişiye özel bir boyun egzersiz programı çıkarılmasını sağlamaktadır. Rezaei ve ark. geliştirdikleri Cervigame adlı oyun yazılımında 50 farklı hareket seviyesi içeren, kolaydan zora doğru ilerleme gösteren bir program tasarlamışlardır. Oyunda görsel fiksasyon, baş ve göz koordinasyonu, baş ve boyun pozisyonu ve hareket duyularının geliştirilmesi hedeflenmektedir (29). Bu derlemenin amacı, sanal

gerçeklik teknolojilerinin kronik boyun ağrısı tedavisinde kullanım alanları ve amaçları, tedavi programlama için optimal doz ve sürenin belirlenmesi ve uygulamanın olası yan etkileri hakkında bilgi vererek ilerleyen çalışmalar için yol gösterici olmasıdır.

VR Uygulamalarının Boyun Ağrısı Üzerine Etkileri

Sanal gerçekliğin ağrı üzerindeki analjezik etkileri 21.yy.'ın başlarında yapılan çalışmalarla birlikte ortaya konmaya başlamış ve ilerleyen çalışmalarla da desteklenmiştir (30,31). Boyun ağrısında tek bir seans VR uygulamasının ağrıyı azalttığına dair kanıtlar bulunmakla birlikte (23) 4-6 seanslık uygulamaların ardından kısa ve orta vadede ağrıda anlamlı azalmanın bildirildiği çalışmalar da mevcuttur (24,29,32). Literatürde VR'ın ağrı kontrolü üzerine etki mekanizmalarını açıklayan çeşitli mekanizmalar üzerinde durulmaktadır. VR ile ağrı kontrolünün temel mekanizmasını araştıran çalışmaların sonucu olarak ağrı algısını etkileyen temel mekanizmada *distraksiyon* kavramı sıklıkla yer almaktadır. Ağrı fiziksel, psikolojik veya duysal girdiler yoluyla oluşan travmalar sonucu vücudun kendisini korumak için verdiği algısal

tepki olarak tanımlanmaktadır (25). Ağrı algısı üzerinde etki eden faktörler arasında dikkat, kognisyon, duyular, duygular, motivasyon ve hafıza sayılabilir (33). Bu algısal süreçlerin VR teknolojileriyle yönlendirilebilmesini sağlayan durum, kişinin içerisinde dikkat, konsantrasyon ve multisensoryel entegrasyon gerektiren bir oyun kurgusu içerisinde dikkatini ağrıdan uzaklaştırmasıyla açıklanmaktadır. Oyuna odaklanmayla birlikte proprioepsiyon duyusunun diğer periferik duyuları baskılamasıyla açıklanan bir teoride ağrı eşliğinin yükselebilmesi bu şekilde açıklanmaya çalışılmaktadır (25). Distraksiyon ve ağrıyla başa çıkma üzerine yapılan başka bir çalışmada *dikkat kapasitesinin limitli olduğu* söylenmektedir (34). Bu bilgidен hareketle oyuna odaklanan, farklı şekilde gelen duysal uyarınları takip eden ve verilen görevleri yapmaya çalışan bir kişinin ağrı için ayırabileceği dikkat kapasitesinin de azalması beklenmektedir.

Pozitif Emisyon Transmisyon, Manyetik Rezonans Görüntüleme, Magnetoensefalografi gibi nörogörüntüleme tekniklerinin yaygın kullanımının artışı sonucunda ağrı nörofizyolojisi hakkında objektif veriler sunan araştırmalar da

çoğalmıştır (35). Bu kapsamda yapılan çalışmalar, ağrı modülasyonu ile ilişkili ağrı matriksi üzerine odaklanmaktadır. Ağrı matriksi, Anterior Singulat Korteks (ASK), insula, talamus, primer ve sekonder somatosensorial korteks yapılarını içermektedir. Yapılan bir çalışmada ağrı matriksinde, ağrılı uyarana karşı VR uygulaması sonucu analjezik etki sağlandığı bildirilmiştir (36). Singulo-frontal korteks aktivitesinin Periaquaduktal Gri Çekirdek (PAG)'i uyarması ve sonucunda da ağrı inhibisyonunu sağlaması, dikkat işleme sürecinin ağrı inhibisyonunun ile ilişkisini açıklamaktadır (35). PAG, inen yollar aracılığıyla spinal düzeyde ağrı inhibisyonunu sağlayan bir orta beyin bölümüdür. Korteksten dikkat işleme ve duygular hakkında sinyaller alır. Tüm bu açıklamalar doğrultusunda VR aracılığıyla uygulanan dikkat temelli tedaviler, artan perigenual ASK, orbitofrontal ve PAG aktivitesinde artış ve ağrı matriksi aktivitesinde azalma sonucu ağrı algısını düzenleyebiliyor olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, hoş bir ortamda duygular eşliğinde yapılan çalışmalar amigdalayla aktive edip, PAG'ı fasilite ederek ağrıya azalmayı sağlayabilir (37). VR yazılımları ağrının bir sonucu

olarak azalan boyun çevresi kas fonksiyonu ve motor kontrolü, göz, boyun ve vestibular internöronal bağlantıları geliştiren boyun egzersizleri içermektedir (24).

VR Uygulamalarının Boyun Ağrısında Disabilite Üzerine Etkileri:

Boyun ağrısında VR uygulamalarının, kontrol grubuna kıyasla disabiliteyi azalttığına dair kanıtlar bulunmaktadır (24,29,32,38). Derin ve yüzeysel boyun kaslarının kontrol ve koordinasyonunda artış, hızlı boyun hareketlerinin yapılabiliğinde gelişme, günlük yaşam aktiviteleri sırasında boyun çevresinde daha az stres, boyun, görsel (vizüel) ve vestibuler sistemler arasında daha gelişmiş motor kontrol ve nöronal bağlantının ortaya çıkması disabilitenin azalmasında etkin görülmektedir (24). Bununla birlikte VR çalışmalarında disabilitenin değerlendirilmesine yönelik çalışmaların artması gerektiği vurgulanmaktadır (24, 38).

VR Uygulamalarının Boyun Ağrısında Postural Kontrol ve Denge Kayıpları Üzerine Etkileri:

Efektif ve uygun zamanda postural kontrol için görsel, vestibular ve proprioseptif girdilerin işleme süreçlerinin uygun entegrasyonu gereklidir (39). Fazla sayıda kas içiğinin

bulunması nedeniyle de boyun bölgesinde postural kontrol mekanizmaları daha kompleks bir yapıdadır (40). Bu bölgedeki kas içicikleri postural kontrolü sağlamada vestibuler ve visuel sistemlerle kompleks bir refleks bağlantıya sahiptir. Boyun ağrılı hastalarda postural kontrol kayıpları kanıtlanmıştır (41,42). VR çalışmalarının boyun ağrılı hastalarda dinamik denge ve ayakta durmayı değerlendiren step-up (24) ve dinamik dengeyi ölçen Y-balance test (29) sonuçlarıyla kısa ve orta vadede dengeyi anlamlı düzeyde geliştirdiği gösterilmiştir. Ağrı ve disabilitede azalma, VR teknolojisinin kas içiği duyarlılığındaki azalmayı sağlamasıyla ilişkili olarak postural kontrol ve dengenin gelişimine katkı sağlamaktadır (40,43).

VR Uygulamalarının Boyun Ağrısında Kinematik Değişimler Üzerine Etkileri:

Kronik boyun ağrısıyla birlikte boyun hareketlerinin eklem hareket açıklığında (EHA), hızında ve kesinliğinde değişimler bildirilmiştir. Boyun EHA kısıtlılığı boyun ağrılı hastalarda görülen en yaygın bulgulardan biridir (44). VR çalışmalarının boyun eklem kinematikleri üzerindeki tartışmalı sonuçları birkaç nedene bağlanabilir; katılımcının başlangıçtaki normal

EHA değerleri, VR oyununun tasarımı, çalışma dizaynı, süre ve seans sayısı gibi (38). Hareketlerin hızı, boyun ağrılı hastalarda, iyi bir belirleyici olarak ifade edilmektedir (45). Dört hafta boyunca uygulanan VR çalışmaları sonucunda maksimum ve ortalama hareket hızında kısa ve orta dönem sonuçlarında gelişme sağlandığı bulunmuştur (24,38). Hareket kesinliğinde kayıplar, boyun ağrılı hastalarda sıklıkla görülebilen bir başka bulgudur. Yapılan çalışmalarda 4-6 seanslık VR uygulamaları sonucunda hareketlerin kesinliğinde kontrol grubuna göre anlamlı artış gözlenmiştir (24,38). VR temelli uygulamalardaki olası kinematik gelişmeler, gözler, baş, vestibuler koordinasyon, motor öğrenme ve daha iyi motor kontrol ile ilişkilendirilmektedir. Bu gelişimleri daha fazla açıklayabilmek için, literatürde 'distraksiyon' etkisi, buna bağlı gevşeme, artan motivasyon ve azalan hareket korkusu parametreleri öne çıkmaktadır.

VR Teknolojileri İçin Optimal Doz ve Uygulama Süresi:

VR temelli tedavilerin etkinliğini belirleyen faktörler, kullanılan VR teknolojisinin tipi (immersive, semi-immersive vs.), bu teknolojinin

kişilerin duyularının ne oranda yerini aldığı, uygulama süresi, sıklığıdır. VR ve ağrı yoğunluğu üzerine yapılan bir çalışmada immersive VR teknolojilerinin non-immersive VR teknolojilerinden daha etkin bulunduğu bildirilmiştir (46). Kullanıcının motivasyonunu ve katılımını artırmak için daha realistik tasarımlar içeren senaryoların etkin olduğu, böylece çevreden gelen duysal uyarılara kişinin daha çok odaklanması sağlanarak ağrıda azalma hedeflenmektedir (28). Optimal bir tedavi hedefine ulaşabilmek için literatürde bildirilen süreler, 4-8 seans, her seans 20-30 dk uzunluğunda ve 4-5 haftanın üzerinde bir uygulamayı tavsiye etmektedir (24,38). Yapılan çalışma ve katılımcı sayılarının az olması nedeniyle bu alandaki etkinliğin incelenmesi için daha fazla sayıda çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Boyun Ağrısında VR Uygulamalarına Dair Olası Yan Etkiler:

Boyun ağrısında gösterilen olumlu etkilerine rağmen VR uygulamalarının bilinen en önemli yan etkisi hareket hastalığı (HH) olarak bilinmektedir. HH, farklı sanal gerçeklik ortamlarına maruz kalma sırasında veya sonrasında meydana gelebilen, araç

tutmasına (hareket hastalığı) benzer bir sendromdur (47). Literatürde "cybersickness" gibi farklı ifadelerle yer alabilse de bu tablo genel olarak 'sanal gerçeklik teknolojilerinden kaynaklanan hoşça gitmeyen semptomlar' olarak tanımlanmaktadır (48,49). HH'nin en sık görülen yan etkileri, baş dönmesi, renkte solgunluk, soğuk terleme, mide bulantısı ve kusmadır. İmersiyona maruz kalan VR kullanıcılarının %80-95'inde HH görüldüğü bilinmektedir. Görsel rahatsızlık, maruziyet süresi, anksiyete, yaş ve kadın cinsiyet VR uygulamalarında olası HH durumlarını tetikleyebilmektedir (50).

HH fenomenini açıklayan bazı teoriler bulunmaktadır. Reason ve Brand tarafından önerilen Duyusal Çatışma Teorisi (1975) (51), HH'nin görsel, vestibular, proprioseptif duyular gibi farklı duysal sinyaller arasındaki çatışmadan kaynaklandığını söylemektedir. Reason tarafından ortaya atılan Nöron Uyuşmazlık Teorisi'nde (1978) (52), alınan duysal bilginin kişinin önceki deneyimleriyle eşleşmemesi sonucunda HH oluştuğu düşünülmektedir. Riccio ve Stoffregel tarafından ortaya atılan Postural İnstabilite Teorisi'nde (1991) (53) ise duysal çatışma teorisi

eleştirilmektedir. Uygulama sırasında duyular arası çatışmanın sıklıkla olabilen ve hiçbir sıra dışı tablo barındırmayan bir durum olduğu, postural instabilitenin asıl neden olabileceği öne sürülmüştür. Yetersiz postural kontrole sahip olan bazı bireylerin değişen koşullara uygun postural cevabı oluşturamamaları stabilitenin nasıl en iyi şekilde sürdüreceğini bilememesi nedeniyle HH yaşanması şeklinde açıklanmaktadır. Örnek olarak, gemide seyahat sırasında yaşanan veya lunapark hız treni deneyiminden sonra görülebilen semptomlar verilmektedir.

Ebenholtz tarafından öne sürülen Göz Hareketleri Teorisinde (54,55) ise araç tutması ve HH, vagus sinirinin stimülasyonu ile açıklanmaktadır. Mekanizma, optokinetik nistagmus ve vestibüler oküler yanıt adı verilen iki spesifik göz hareketinin göz kasları çevresinde gerilim oluşturarak vagus sinirini uarması ve konsantrasyon zorluğu, göz yorgunluğu, baş ağrısına yol açması şeklinde açıklanmaktadır.

Bruck ve Walters HH hakkında, nedensellik zinciriyle ilerleyen daha kapsamlı bir teori öne sürmüşlerdir (48). Bu teoride;

-Uyarılmanın artışıyla birlikte solunum hızında meydana gelen değişimler serebral kan akımındaki karbondioksit düzeylerinde düşüşe yol açar. Bu değişimler sonucunda baş dönmesi, yorgunluk, konsantrasyon güçlüğü, anksiyete gibi HH semptomları meydana gelir. Görülen HH semptomları ise 4 faktöre ayrılabilir.

- 1- Genel hareket tutması faktörü: HH semptomlarının çoğunu içine almakla birlikte, hasta hissetme ve bulantı hissi ön planda
 - 2- Görsel faktör: Solunumla ilişkilidir. Göz yorgunluğu, baş ağrısı semptomları görülebilir.
 - 3- Uyarılma faktörü: Solunumda değişimler, net görememe, vertigo
 - 4- Yorgunluk faktörü: Göz yorgunluğu, kafada dolgunluk hissi, baş dönmesi, görme kaybı
- HH'nin değerlendirilmesinde Siber Hastalık Vizüel Analog Skalası, Siber Hastalık Anketi, Hareket Hastalığı Duyarlılık Anketi-Kısa Formu, Hareket Hastalığı Değerlendirme Anketi literatürde sıklıkla kullanılmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER:

Literatürde de bildirilen distraksiyon ve motivasyon gibi faktörler nedeniyle, sanal gerçeklik uygulamalarının boyun ağrısı rehabilitasyonunda kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Tele rehabilitasyon, teknolojik değerlendirme ve tedavi yöntemlerinin, terapistin hastayı uzaktan da takip edebiliyor olmasını sağlaması nedeniyle bu alanda yapılan çalışmalar yaygınlaşmaktadır. Oyun haline getirilen yazılımlar, klasik tedavi yaklaşımlarına kıyasla tedaviye devamlılık ve motivasyonu artırmada etkin bulunduğu için farklı rehabilitasyon alanlarında olduğu gibi boyun ağrısı rehabilitasyonunda da geliştirilmeye açık bir alan olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ferrari R, Russell AS. Regional musculoskeletal conditions: neck pain. Best practice & research Clinical rheumatology. 2003;17(1):57-70.
- Hoy D, March L, Woolf A, Blyth F, Brooks P, Smith E, et al. The global burden of neck pain: estimates from the global burden of disease 2010 study. Annals of the rheumatic diseases. 2014;73(7):1309-15.
- Côté P, van der Velde G, Cassidy JD, Carroll LJ, Hogg-Johnson S, Holm LW, et al. The burden and determinants of neck pain in workers: results of the Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. Spine (Phila Pa 1976). 2008;33(4 Suppl):S60-74.
- Elbinoune I, Amine B, Shyen S, Gueddari S, Abouqal R, Hajjaj-Hassouni N. Chronic neck pain and anxiety-depression: prevalence and associated risk factors. The Pan African medical journal. 2016;24:89.
- Haldeman S, Carroll L, Cassidy JD, Schubert J, Nygren A. The Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders: executive summary. Spine (Phila Pa 1976). 2008;33(4 Suppl):S5-7.
- Kim R, Wiest C, Clark K, Cook C, Horn M. Identifying risk factors for first-episode neck pain: A systematic review. Musculoskeletal science & practice. 2018;33:77-83.
- Kazeminasab S, Nejadghaderi SA, Amiri P, Pourfathi H, Araj-Khodaei M, Sullman MJ, et al. Neck pain: global epidemiology, trends and risk factors. BMC Musculoskeletal Disorders. 2022;23(1):1-13.
- Genebra C, Maciel NM, Bento TPF, Simeão S, Vitta A. Prevalence and factors associated with neck pain: a population-based study. Brazilian journal of physical therapy. 2017;21(4):274-80.
- Hogg-Johnson S, van der Velde G, Carroll LJ, Holm LW, Cassidy JD, Guzman J, et al. The burden and determinants of neck pain in the general population: results of the Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. Spine (Phila Pa 1976). 2008;33(4 Suppl):S39-51.
- McLean SM, May S, Klaber-Moffett J, Sharp DM, Gardiner E. Risk factors for the onset of non-specific neck pain: a systematic review. Journal of epidemiology and community health. 2010;64(7):565-72.
- Tejera DM, Beltran-Alacreu H, Cano-de-la-Cuerda R, Leon Hernández JV, Martín-Pintado-Zugasti A, Calvo-Lobo C, et al. 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. 2020;17(16).
- Burbules NC. Rethinking the Virtual. In: Weiss J, Nolan J, Hunsinger J, Trifonas P, editors. The International Handbook of Virtual Learning Environments. Dordrecht: Springer Netherlands; 2006. p. 37-58.
- Mujber TS, Szecsi T, Hashmi MSJ. Virtual reality applications in manufacturing process simulation. Journal of Materials Processing Technology. 2004;155-156:1834-8.
- Lee SH, Jung HY, Yun SJ, Oh BM, Seo HG. Upper Extremity Rehabilitation Using Fully Immersive Virtual Reality Games With a Head Mount Display: A Feasibility Study. PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation. 2020;12(3):257-62.
- Jack D, Boian R, Merians AS, Tremaine M, Burdea GC, Adamovich SV, et al. Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation. IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2001;9(3):308-18.
- Reid DT. Benefits of a virtual play rehabilitation environment for children with cerebral palsy on perceptions of self-efficacy: a pilot study. Pediatric rehabilitation. 2002;5(3):141-8.
- Haik J, Tessone A, Nota A, Mendes D, Raz L, Goldan O, et al. The use of video capture virtual reality in burn rehabilitation: the possibilities. Journal of burn care & research : official publication of the American Burn Association. 2006;27(2):195-7.
- Mirelman A, Maidan I, Herman T, Deutsch JE, Giladi N, Hausdorff JM. Virtual reality for gait training: can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson's disease? The journals of gerontology Series A, Biological sciences and medical sciences. 2011;66(2):234-40.
- Albiol-Perez S, Forcano-García M, Muñoz-Tomás M, Manzano-Fernández P, Solsona-Hernández S, Mashat M, et al. A novel virtual motor rehabilitation system for Guillain-Barre syndrome. Methods of Information in Medicine. 2015;54(02):127-34.

20. Fulk GD. Locomotor training and virtual reality-based balance training for an individual with multiple sclerosis: a case report. *Journal of neurologic physical therapy : JNPT*. 2005;29(1):34-42.
21. Kramer M, Honold M, Hohl K, Bockholt U, Rettig A, Elbel M, et al. Reliability of a new virtual reality test to measure cervicocephalic kinaesthesia. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*. 2009;19(5):e353-61.
22. Sarig-Bahat H, Weiss PL, Laufer Y. Cervical motion assessment using virtual reality. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(10):1018-24.
23. Sarig-Bahat H, Weiss PL, Laufer Y. Neck pain assessment in a virtual environment. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(4):E105-12.
24. Sarig Bahat H, Takasaki H, Chen X, Bet-Or Y, Treleaven J. Cervical kinematic training with and without interactive VR training for chronic neck pain - a randomized clinical trial. *Manual therapy*. 2015;20(1):68-78.
25. Harvie DS, Broecker M, Smith RT, Meulders A, Madden VJ, Moseley GL. Bogus visual feedback alters onset of movement-evoked pain in people with neck pain. *Psychological science*. 2015;26(4):385-92.
26. Harvie DS, Smith RT, Moseley GL, Meulders A, Michiels B, Sterling M. Illusion-enhanced Virtual Reality Exercise for Neck Pain: A Replicated Single Case Series. *The Clinical journal of pain*. 2020;36(2):101-9.
27. Kim W, Jeon I, Moon J. NexerciseVR: A VR-based Exergame for Neck Exercise. Available at SSRN 3448344. 2017.
28. Mihajlovic Z, Popovic S, Brkic K, Cosic K. A system for head-neck rehabilitation exercises based on serious gaming and virtual reality. *Multimedia Tools and Applications*. 2018;77(15):19113-37.
29. I R, M R, S E, S K, A RZ. A Novel Virtual Reality Technique (Cervigame®) Compared to Conventional Proprioceptive Training to Treat Neck Pain: A Randomized Controlled Trial. *Journal of biomedical physics & engineering*. 2019;9(3):355-66.
30. Hoffman HG, Doctor JN, Patterson DR, Carrougher GJ, Furness TA, 3rd. Virtual reality as an adjunctive pain control during burn wound care in adolescent patients. *Pain*. 2000;85(1-2):305-9.
31. Wiederhold BK, Gao K, Sulea C, Wiederhold MD. Virtual reality as a distraction technique in chronic pain patients. *Cyberpsychology, behavior and social networking*. 2014;17(6):346-52.
32. Jansen-Kosterink SM, Huis In 't Veld RM, Schönauer C, Kaufmann H, Hermens HJ, Vollenbroek-Hutten MM. A Serious Exergame for Patients Suffering from Chronic Musculoskeletal Back and Neck Pain: A Pilot Study. *Games for health journal*. 2013;2(5):299-307.
33. Tabor A, Thacker MA, Moseley GL, Kording KP. Pain: a statistical account. *PLoS computational biology*. 2017;13(1):e1005142.
34. McCaul KD, Malott JM. Distraction and coping with pain. *Psychological bulletin*. 1984;95(3):516.
35. Valet M, Sprenger T, Boecker H, Willoch F, Rummeny E, Conrad B, et al. Distraction modulates connectivity of the cingulo-frontal cortex and the midbrain during pain--an fMRI analysis. *Pain*. 2004;109(3):399-408.
36. Hoffman HG, Richards TL, Van Oostrom T, Coda BA, Jensen MP, Blough DK, et al. The analgesic effects of opioids and immersive virtual reality distraction: evidence from subjective and functional brain imaging assessments. *Anesthesia and analgesia*. 2007;105(6):1776-83, table of contents.
37. Gold JI, Belmont KA, Thomas DA. The neurobiology of virtual reality pain attenuation. *Cyberpsychology & behavior : the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*. 2007;10(4):536-44.
38. Sarig Bahat H, Croft K, Carter C, Hoddinott A, Sprecher E, Treleaven J. Remote kinematic training for patients with chronic neck pain: a randomised controlled trial. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2018;27(6):1309-23.
39. Vuillerme N, Pinsault N. Experimental neck muscle pain impairs standing balance in humans. *Experimental brain research*. 2009;192(4):723-9.
40. Treleaven J. Sensorimotor disturbances in neck disorders affecting postural stability, head and eye movement control. *Manual therapy*. 2008;13(1):2-11.
41. Silva AG, Cruz AL. Standing balance in patients with whiplash-associated neck pain and idiopathic neck pain when compared with asymptomatic participants: A systematic review. *Physiotherapy theory and practice*. 2013;29(1):1-18.
42. Kirmizi M, Yalcinkaya G, Sengul YS, Kalemci O, Angin S. Investigation of balance performance under different sensory and dual-task conditions in patients with chronic neck pain. *Musculoskeletal science & practice*. 2021;56:102449.
43. Thunberg J, Hellström F, Sjölander P, Bergenheim M, Wenngren B, Johansson H. Influences on the fusimotor-muscle spindle system from chemosensitive nerve endings in cervical facet joints in the cat: possible implications for whiplash induced disorders. *Pain*. 2001;91(1-2):15-22.
44. Sjölander P, Michaelson P, Jaric S, Djupsjöbacka M. Sensorimotor disturbances in chronic neck pain--range of motion, peak velocity, smoothness of movement, and repositioning acuity. *Manual therapy*. 2008;13(2):122-31.
45. Descarreaux M, Passmore SR, Cantin V. Head movement kinematics during rapid aiming task performance in healthy and neck-pain participants: the importance of optimal task difficulty. *Manual therapy*. 2010;15(5):445-50.
46. Li L, Yu F, Shi D, Shi J, Tian Z, Yang J, et al. Application of virtual reality technology in clinical medicine. *American journal of translational research*. 2017;9(9):3867-80.
47. Dużmańska N, Strojny P, Strojny A. Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. *Frontiers in psychology*. 2018;9:2132.
48. Bruck S, Watters PA. The factor structure of cybersickness. *Displays*. 2011;32(4):153-8.
49. Lee J, Kim M, Kim J. A Study on Immersion and VR Sickness in Walking Interaction for Immersive Virtual Reality Applications. *Symmetry*. 2017;9(5):78.
50. Tyrrell R, Sarig-Bahat H, Williams K, Williams G, Treleaven J. Simulator sickness in patients with neck pain and vestibular pathology during virtual reality tasks. *Virtual Real*. 2018;22(3):211-9.
51. Reason JT, Brand JJ. *Motion sickness*. Oxford, England: Academic Press; 1975. vii, 310-vii, p.
52. Reason JT. Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journal of the Royal Society of Medicine*. 1978;71(11):819-29.
53. Riccio GE, Stoffregen TA. An ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecological Psychology*. 1991;3(3):195-240.
54. Ebenholtz SM. Motion sickness and oculomotor systems in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*. 1992;1(3):302-5.
55. Ebenholtz SM. *Oculomotor systems and perception*: Cambridge Univ Pr; 2001.