



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-Infantili

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2016/2017

Campus Universitario di Savona

Stato dell'arte della riabilitazione in ambiente di virtual reality e nuove tecnologie di biofeedback nel trattamento del CNSLBP.

Candidato:

Dott. Ft Andrea Mattioni

Relatore:

Dott. Ft OMPT Matteo Locatelli

Sommario

Abstract.....	3
Introduzione	4
La graded exposure therapy e il modello fear-avoidance del dolore	4
Le nuove tecnologie di biofeedback.....	4
I meccanismi alla base del trattamento del dolore con VR.....	5
I nuovi strumenti di <i>biofeedback</i>	5
Metodi	7
Fonti dei dati.....	7
Selezione degli studi	8
Valutazione degli studi	9
Analisi dei dati.....	11
Risultati	11
Discussione	17
Considerazioni sul futuro del trattamento del CNSLBP con strumenti tecnologici	20
Conclusioni.....	21
Bibliografia	23

Abstract

Obiettivo: lo scopo di questo studio è investigare in modo sistematico, l'efficacia dell'utilizzo di strumenti di realtà virtuale e nuove tecnologie di biofeedback nel ridurre il dolore cronico e la disabilità legati al NSLBP rispetto al trattamento riabilitativo standard o al non intervento, nella popolazione aperta senza restrizione di età e sesso.

Fonti dei dati: è stata condotta una ricerca nei database dei maggiori siti web di scienza, l'ultima analisi è stata effettuata in data 15 ottobre 2017: EMBASE (Excerpta Medica Database, 1947–2017), PUBMED (US National Library of Medicine) and PEDro (Physiotherapy Evidence Database).

Metodo di revisione: è stata condotta una semplice analisi dei dati, paragonando scale di valutazioni comuni valutando l'efficacia del trattamento sperimentale nel diminuire il dolore, la paura del movimento, la limitazione al movimento.

Risultati: Questa revisione include 7 RCT e 1 *exploratory study*; 4 studi paragonano trattamenti che utilizzano la VR paragonandola alla terapia tradizionale o all'esercizio terapeutico, 2 studi paragonano il trattamento con Nintendo Wii all'esercizio terapeutico o al trattamento convenzionale, 2 studi analizzano l'efficacia dell'utilizzo di sensori di movimento o elettromiografici paragonandoli al trattamento convenzionale. Gli studi che utilizzano come trattamento sperimentale tecnologie basate sulla VR o AR mostrano risultati significativi per dolore e aumento della funzionalità durante il movimento rispetto al trattamento standard composto da fisioterapia ed esercizi di rinforzo. I RCTs che utilizzano console Wii e Wii *Balance Board* inclusi nella nostra revisione concludono affermando che non vi sono differenze significative tra il trattamento con Wii e la fisioterapia o l'esercizio fisico per dolore, funzionalità legata alla forza della muscolatura vertebrale e all'equilibrio. I due RCTs che utilizzano come *biofeedback* la EMG di superficie associata o meno a dei sensori di movimento mostrano risultati significativi per diminuzione del dolore e delle limitazioni durante le attività rispetto al trattamento standard senza *biofeedback*.

Conclusioni: Da un punto di vista qualitativo dalla nostra revisione emerge un effetto clinico positivo nell'utilizzo della virtual reality e degli strumenti di biofeedback tecnologici per il trattamento del dolore e della disabilità legata al CNSLBP.

Introduzione

Il LBP è un importante problema di salute con un'eziologia aspecifica nel 85% dei casi ed è tra le prime cause di assenza sul lavoro (1). Si stima che ha una prevalenza del 80% sulla popolazione dei paesi sviluppati e circa la metà dei pazienti incorre in più di dieci episodi di LBP durante la vita con la tendenza alla cronicizzazione (2). La ricerca sulle possibili cause del LBP si è spostata sempre più dall'idea di un danno strutturale di base, all'ipotesi che un deficit del controllo motorio e chinesiofobia siano fattori alla base di tale patologia. L'esercizio terapeutico che imposti come *outcome* la sicurezza nel movimento e il corretto pattern funzionale sembrano essere le scelte più efficaci nel trattamento del LBP (3). I progressi in ambito psicosociale e biomedico non hanno portato ad una reale diminuzione dell'incidenza e dell'impatto del LBP, al contrario sia le spese mediche sia l'incidenza stanno aumentando negli ultimi anni (4).

La graded exposure therapy e il modello fear-avoidance del dolore

La *graded-exposure therapy* è l'intervento primario derivante dal modello *Fear Avoidance* del dolore, ossia da un modello che ritrova nel fenomeno di paura-evitamento, la causa legata all'instaurarsi del dolore cronico (5). La *graded exposure therapy* è una tipologia di trattamento cognitivo-comportamentale nato in psicologia per trattare la fobia o gli stati di ansia, si attua in tre fasi volte a desensibilizzare il soggetto: la prima fase nella quale è necessario riconoscere la causa primaria legata ai disturbi o all'ansia, la seconda fase è volta a rilassare il soggetto attraverso le strategie di *coping*, la terza fase è far assumere al paziente la capacità di applicare le tecniche di *coping* volte a modificare la paura (6). Nel LBP cronico il modello *fear-avoidance* si ritrova in molti pazienti, credenze negative riguardanti il proprio disturbo possono generare kinesiofobia, limitazione del movimento e catastrofizzazione (7). La letteratura scientifica ci dice che il trattamento del CNSLBP volto a ridurre ed eliminare la paura ha molta più efficacia rispetto al trattamento che non utilizza tale strategia (8).

Le nuove tecnologie di biofeedback

I *biofeedback* sono sfruttati in riabilitazione da più di cinquant'anni per migliorare i pattern fisiologici di movimento dopo una patologia (9). Si basano sul concetto di fornire e quantificare informazioni biologiche o biomeccaniche in tempo reale, informazioni che altrimenti sarebbero sconosciute al paziente o non misurabili (10).

Negli ultimi anni il progresso tecnologico ha reso possibile l'utilizzo di strumenti di *biofeedback* via via sempre più innovativi e funzionali per il paziente. L'utilizzo della realtà virtuale (VR) permette

alla persona di immergersi in un ambiente virtuale dove può essere sottoposta a esercizi terapeutici sottoforma di giochi interattivi.

I nuovi sistemi di biofeedback che sfruttano piattaforme ludiche per l'esercizio terapeutico o che utilizzano la VR, sono applicati con successo nel trattamento del dolore acuto. Recenti studi iniziano ad analizzare l'efficacia del loro impiego anche in casi di dolore cronico.

I meccanismi alla base del trattamento del dolore con VR

La VR *exposure therapy* permette di esporre il paziente a stimoli che sono in grado di abbassare l'attenzione sul dolore. A proposito gli studi a riguardo affermano che l'effetto di queste tecnologie sul dolore è quello di attenuare l'attenzione, distraendo il soggetto dal suo problema (11,12). La distrazione che queste tecnologie sono in grado di attuare è in grado, attraverso stimoli visivi, uditivi e tattili, di abbassare il dolore soggettivo percepito agendo sul sistema nervoso centrale (13). Nonostante i ricercatori non siano ancora in grado di spiegare in modo specifico quali siano i meccanismi alla base della diminuzione del dolore sembra che l'aspetto ludico e l'utilizzo di obiettivi o target da raggiungere siano elementi fondamentali per motivare e distrarre maggiormente dal dolore (12,14). A favore di quanto detto, una serie di studi sperimentali che hanno paragonato l'intervento ludico con VR con target da raggiungere all'intervento senza una base ludica e priva di obiettivi concludo affermando rispettivamente che il primo intervento è più efficace nel ridurre il dolore acuto (15,16).

I nuovi strumenti di *biofeedback*

Il panorama delle nuove tecnologie in campo riabilitativo ha aperto nuovi orizzonti negli ultimi 20 anni (10), l'aumento della qualità dell'immagine digitale, delle possibilità interattive dei software e della capacità di registrazione di movimento degli accelerometri, ha portato ad aumento della funzionalità di questi strumenti nel trattamento del dolore e delle disabilità ad esso legate. In questa revisione sono presenti diversi strumenti di *biofeedback* utilizzati nei RCTs inclusi, di seguito una breve descrizione di questi apparecchi in modo da rendere più chiara la lettura:

- DorsaVi, si tratta di sensori di movimento *wireless* indossabili che analizzano e quantificano la funzione cinematica muscolo-scheletrica. Questa tecnologia può assistere la valutazione del movimento della colonna vertebrale, programmando i sensori su un range individuale del paziente, fornendo così un *feedback* su movimenti che risultano dolorosi in pazienti con *LBP*.
- *Virtual Reality Game*, sono apparecchiature che utilizzano software che si interfacciano a occhiali o visori per la VR in grado di mostrare un ambiente digitale nel quale è possibile

interagire attraverso sensori di movimento. Per esempio nel RCT di Thomas et al. (17), hanno utilizzato un occhiale 3D con un *software* che ricreava una partita di *dodgeball* nel quale si giocava attraverso un *avatar* in terza persona contro altri giocatori virtuali.

- Nintendo Wii®, questa console permette grazie all'utilizzo di una pedana (Wii *Balance Board*) in grado di rilevare gli spostamenti del peso, la discesa e la salita di un giocatore, di eseguire innumerevoli giochi che hanno come *core* il *training* dell'equilibrio. Quando si è sulla pedana è possibile misurare il COP (*centre of pressure*) durante svariati esercizi, e di correggere gli spostamenti che portano ad un'asimmetria del COP.
- *Augmented Reality* (AR) si tratta di apparecchi in grado di riprodurre video ad alta definizione girati con speciali telecamere a 360°, il soggetto indossa dei visori simili ad occhiali collegati ad un apparecchio che riproduce il video, una volta proiettato è possibile esplorare l'ambiente riprodotto a 360° senza però la possibilità di interagire in alcun modo. La differenza dalla VR riguarda il fatto che il video è girato in un ambiente reale e non riprodotto digitalmente, perciò la qualità dell'immagine è molto più alta rispetto a quella digitale.
- Spineangel (*Movement Metrics, Hamilton New Zealand*), è un esempio di dispositivo indossabile in grado di monitorare i movimenti del tratto lombo pelvico e di fornire *feedback* sottoforma di segnali acustici in caso di necessità. Questa tipologia di *biofeedback* viene programmata tramite un computer sulla postura del soggetto che dovrà indossarli, il clinico individua alcuni movimenti limite che evocano dolore e imposta un avviso acustico che allerta il soggetto quando esegue questi movimenti. Lo scopo è monitorare il movimento durante la vita quotidiana promuovendo il corretto pattern e correggendo le abitudini posturali potenzialmente dannose.
- Virtual Mirror, si tratta di uno schermo ad alta definizione che grazie ad una speciale telecamera e ad una tuta contenente *marker* di movimento, è in grado, attraverso un computer, di riprodurre un avatar del soggetto. L'avatar riproduce tutti i movimenti che esegue chi indossa i *marker*, e attraverso un software è possibile rendere i movimenti in scala uguale, più piccoli o più grandi rispetto al soggetto al soggetto che li compie.
- SEMGAS (*Surface EMG Assisted Stretching*) *Biofeedback*: attraverso l'elettromiografia di superficie della muscolatura paravertebrale è possibile rilevare l'attivazione muscolare e registrarne l'intensità espressa in μV , se a questa procedura viene abbinato un sistema di *biofeedback* visivo o uditivo è possibile sfruttarla durante l'esercizio terapeutico. In particolare questo dispositivo è utile quando si vuole correggere, nei soggetti con CNSLBP, il *Flexion*

Relaxation phenomenon alterato, ossia l'incapacità di rilassare la muscolatura paravertebrale durante una flessione massima del tronco.

Metodi

Per realizzare questa revisione ci siamo basati sul protocollo PRISMA. Il PRISMA prevede l'utilizzo di una check-list di 27 voci e un diagramma a 4 fasi. Gli studi inclusi in questa revisione seguono il modello del PICOS., Partecipanti: popolazione aperta, senza limiti di età; Interventi: l'utilizzo di nuove tecnologie di *biofeedback* o di realtà virtuale; Confronto: il non intervento o *l'usual care*; *Outcome*: abbiamo considerato come risultati la diminuzione del dolore, la riduzione della chinesiofobia per il trattamento del dolore cronico nel LBP; gli Studi inclusi: abbiamo deciso di includere oltre ai RCT anche studi osservazionali e *case report* che presentavano un PICOS conforme alla nostra indagine.

Fonti dei dati

Abbiamo condotto una ricerca nei database dei maggiori siti web di scienza, l'ultima analisi è stata effettuata in data 15 ottobre 2017: *EMBASE (Excerpta Medica Database, 1947–2017)*, *PUBMED (US National Library of Medicine, 1950-2017)* and *PEDro (Physiotherapy Evidence Database)*. La formula utilizzata per la ricerca ha utilizzato i seguenti termini:

- *Virtual reality*
- *Virtual reality exposure therapy*
- *Virtual game*
- *Smart game*
- *Exergame*
- *Serious game*
- *Computer game*
- *Wii*
- *New biofeedback*
- *Low back pain*
- *Non specific low back pain*
- *Chronic low back pain*
- *Back pain*

- *Lumbar pain*
- *Lumbago*

Per il database *Pubmed* la stringa di ricerca ha utilizzato *Mesh* e ricerche dirette per titoli e *abstract* ed è stata così formulata: ("*virtual reality*" or "*virtual reality exposure therapy*" or "*exergame*" or "*smart game*" or "*virtual game*" or "*serious game*" or "*computer game*" or "*new biofeedback*" or "*wii*") and ("*low back pain*" or "*non specific low back pain*" or "*chronic low back pain*" or "*back pain*" or "*lumbar pain*" or "*lumbago*").

Una volta individuati, gli studi, sono stati sottoposti a lettura del titolo e dell'*abstract* per valutare se avevano un PICOS conforme e per sottoporli all'analisi qualitativa.

Selezione degli studi

La ricerca ha prodotto in totale 32 articoli. I criteri di inclusione adottati sono stati inizialmente:

- La presenza nel titolo dell'*abstract* di parole chiave di ricerca.
- La disponibilità di accesso al *full text* nei limiti di tempo previsti da questa revisione.

Effettuata questa prima selezione gli articoli sono stati sottoposti a lettura integrale del testo in modo da escludere quelli che non presentavano un PICOS conforme alla nostra revisione. Sono stati esclusi dalla nostra selezione:

- Articoli che non utilizzavano nuovi strumenti tecnologici di *biofeedback* o dispositivi di realtà virtuale/aumentata nel trattamento del NSLBP cronico.
- Articoli che non avevano come *outcome* la diminuzione del dolore cronico o la diminuzione della disabilità causata dal NSLBP.

Gli articoli inclusi dopo tale *screening* sono stati in totale 8, sette RCT ed un *exploratory trial*.

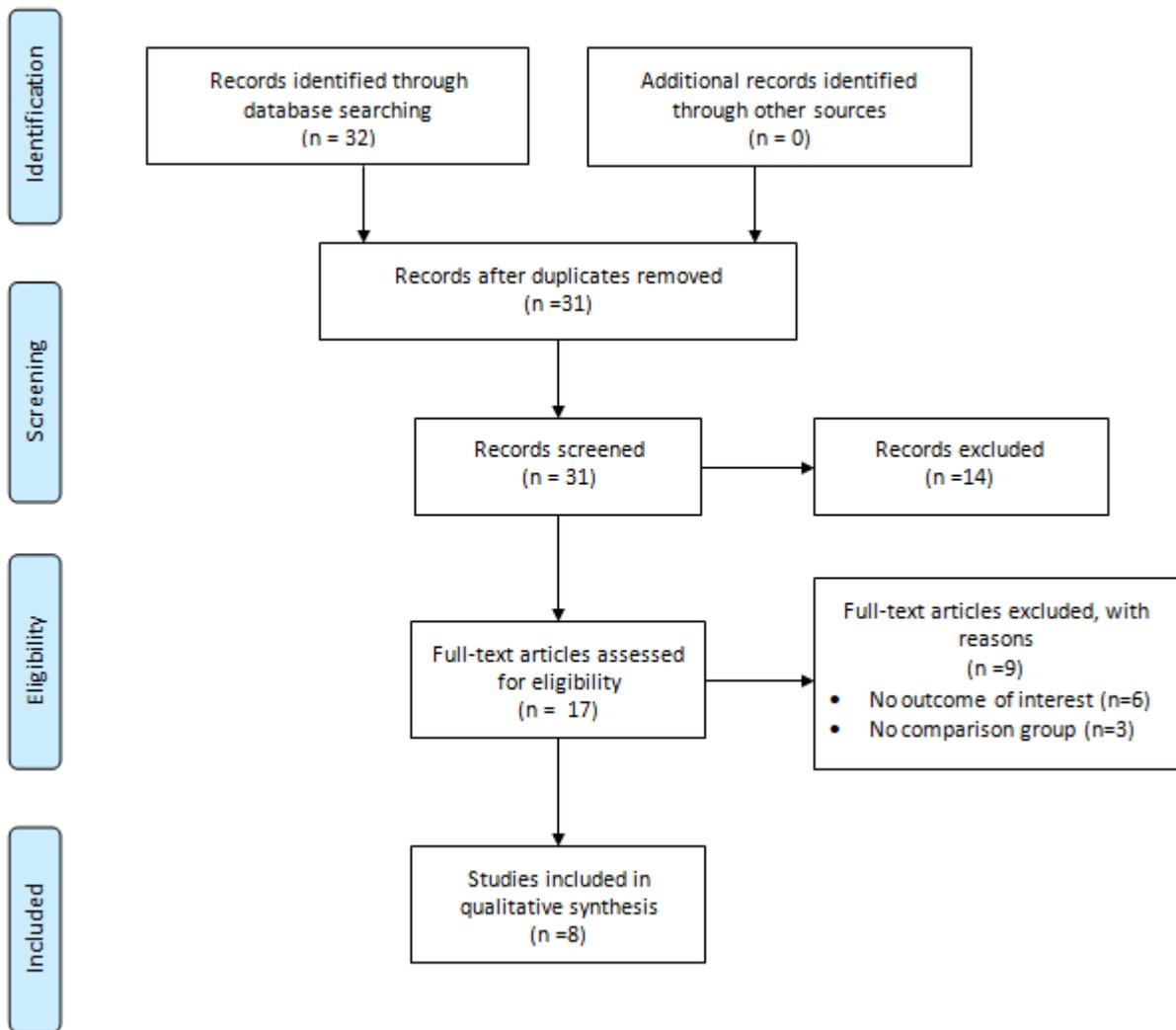


Figura 1: *flowchart* PRISMA

Valutazione degli studi

Per valutare il rischio di *bias* degli articoli inclusi è stato utilizzato il *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. L'analisi del rischio di *bias* ha seguito lo schema dello strumento del *Cochrane Handbook* il quale prevede la ricerca negli articoli delle seguenti fasi:

1. generazione della sequenza *random* di inclusione (*Random sequence generation*)
2. occultamento nell'assegnazione (*Allocation concealment*)
3. utilizzo del metodo doppio cieco (*Blinding of participants and personnel*)
4. cecità del personale impegnato nella valutazione dei trattamenti (*Blinding of outcome assessment*)
5. incompletezza dei dati di *outcome* (*Incomplete outcome data*)

6. selezione selettiva degli *outcome* (*Selective reporting*)

7. altre fonti di *bias* (*Other sources of bias*).

Ogni fase viene classificata con rischio basso (*low risk*) quando è descritta in modo chiaro e adeguato nello studio, alto rischio (*high risk*) quando non è adottata o inadeguata, invece viene ritenuta indefinita (*unclear*) quando non è chiaramente riportata o mancante nel testo dell'articolo.

	Random sequence generation	Allocation concealment	Blinding of participants and personnel	Blinding of outcome assessment	Incomplete outcome data	Selective reporting	Other sources of bias
Kent et al (2015)							
Thomas et al (2016)		?					
Monteiro et al (2015)							
Park et al (2013)		?		?			
Yelvar et al (2016)							
Kim et al (2014)	?	?	?				
Gatchel et al (2011)						?	
Roosink et al (2016)	■	■	■	■	■	■	■

	low risk
	high risk
?	unclear risk
■	Not evaluable

Tabella 1 *risk of bias*

L'analisi è stata eseguita da un unico revisore, in caso di dubbi sulla procedura utilizzata negli articoli inclusi sono stati chiesti chiarimenti ai ricercatori tramite e-mail, in caso di mancata risposta nei tempi necessari, la procedura veniva valutata come *unclear*. La valutazione di ogni singolo studio è consultabile nella figura 2. Dalla tabella possiamo notare che delle criticità sono presenti in quasi tutti i RCTs inclusi, lo studio di Kim et al. è quello che presenta

più alto rischio di *bias*. L'*exploratory study* di Roosink non è stato valutato con il *Cochrane Handbook for systematic review of intervention*.

Analisi dei dati

In questa revisione sono stati inclusi RCTs che avessero nel P.I.C.O.S. il trattamento del dolore cronico o della disabilità dati dal *low back pain* non specifico, che utilizzassero come intervento le nuove tecnologie di *biofeedback*. Data questa premessa è necessario ammettere che gli studi inclusi presentano una grande eterogeneità data dal diverso strumento di intervento, dalla popolazione analizzata, dal trattamento utilizzato nel gruppo di controllo e dalle scale di valutazione adottate. Per tale motivo abbiamo deciso di eseguire una semplice analisi dei dati in comune tra gli studi, confrontando le scale di valutazione comuni e valutando, inoltre, l'efficacia del trattamento sperimentale in ogni singolo studio. I dati analizzati riguardano il dolore, la limitazione al movimento del rachide e la kinesiofobia.

Risultati

Sono stati identificati 32 studi durante la ricerca preliminare, è stato eliminato 1 duplicato, 14 sono stati esclusi nello screening iniziale, 17 studi hanno incontrato i criteri di inclusione, alla fine sono stati esclusi 9 studi, 6 dei quali non presentavano *outcome* comuni al nostro PICOS mentre 3 non presentavano un gruppo di controllo. Questa revisione include 7 RCT e 1 *exploratory study*; 4 studi paragonano trattamenti che utilizzano la VR paragonandola alla terapia tradizionale o all'esercizio terapeutico (17–19), 2 studi paragonano il trattamento con Nintendo Wii all'esercizio terapeutico o al trattamento convenzionale (20–22), 2 studi analizzano l'efficacia dell'utilizzo di sensori di movimento o elettromiografici paragonandoli al trattamento convenzionale (23,24). Il numero totale di soggetti considerati in questa revisione è di 432, la durata dei trattamenti va da 1 giorno (18) a 10-12 settimane (23,24) con una media di 4 settimane per gli RCT. La frequenza di trattamento che va da 1 a 5 volte alla settimana con una media di 3 volte a settimana per gli RCT, la durata del trattamento va da 15 min a 2,5 ore. Gli outcome più comuni sono: il dolore misurato con *NRS*, *VAS*, *MPQ* (*McGill Pain Questionnaire*), la paura del movimento, misurata con la *TSK* (*Tampa Scale for Kinesiophobia*), la disabilità legata al dolore, misurata con la *ODI* (*Oswestry Disability Index*), la *RMDQ* (*Roland Morris Disability Questionnaire*) o la *PSFS* (*Patient Specific Functional*

Scale). Alcuni studi utilizzano anche test clinici come la misura del *Active ROM*, il *Single leg balance test*, il *TUG (time up to go)* e il *6 MWT (six minutes walking test)* (19)(20)(23)(17).

ID studio	Disegno	Condizione patologica	Partecipanti	Intervento	Risultati
Park et al. (2013)	RCT	CNSLBP legato al lavoro	N=24 (età media 44 anni) eterogeneo per sesso e caratteristiche antropometriche	Esercizio con Wii vs esercizio fisico vs terapia strumentale	Non significativa differenza tra i gruppi in termini di dolore, forza, equilibrio e qualità di vita..
Kent et al (2015)	RCT	Sub-acuto o CNSLBP	N=112 (età media 43 anni) eterogeneo per sesso e caratteristiche antropometriche	Biofeedback con sensori di movimento vs sensori di movimento placebo più trattamento base da linee guida	Significativo miglioramento del gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo nel dolore, misurato con scala VAS e nella limitazione delle attività, misurato con la RMDQ-23 e la PSFS
Thomas et al (2016)	RCT	CNSLBP con Kinesiofobia	N=52 (età media 25 anni) eterogeneo per sesso e caratteristiche antropometriche	Virtual Dodgeball in VR vs <i>usual care</i>	Significativo miglioramento del dolore, funzionalità fisica e diminuzione di farmaci per il dolore del gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo
Monteiro et al (2015)	RCT	CNSLBP	N=30 (età media 68 anni) campione formato da sole	Esercizi Wii abbinati ad esercizi di forza e	Non vi è differenza significativa tra i due gruppi

			donne. Non eterogeneo per sesso e caratteristiche antropometriche	stabilizzazione vs esercizi di forza e stabilizzazione	per dolore e per equilibrio
Yelvar et al (2016)	RCT	CNSLBP con kinesiophobia	N=44 (età media 49 anni) eterogeneo per sesso e caratteristiche antropometriche	Cammino virtuale in realtà aumentata associato a fisioterapia di base vs fisioterapia di base	Significativo miglioramento per dolore, kinesiophobia, e funzionalità motoria del gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo
Kim et al (2014)	RCT	CNSLBP	N=30 (età media 44 anni) campione formato da sole donne non eterogeneo per sesso e caratteristiche antropometriche	Esercizi di Virtual Yoga utilizzando VR e Wii vs esercizi di stabilizzazione e controllo posturale.	Significativa differenza a favore del gruppo sperimentale per dolore, disabilità e paura del movimento
Gatchel et al (2011)	RCT	CNSLBP associato a anormale fenomeno di flexion relaxation e soggetti sani	N=140 (età media 42 anni) eterogeneo per sesso e caratteristiche antropometriche	Trattamento con SEMGAS biofeedback vs esercizi funzionali vs gruppo di controllo asintomatico	Miglioramento significativo per aumento del ROM della colonna lombare rispetto al gruppo di esercizio funzionale. non vi è differenza significativa al termine dello studio tra il gruppo sperimentale e il controllo di soggetti sani in termini di ampiezza di movimento.

Roosink et al (2016)	Esploratory study	CNSLBP e soggetti sani	N=30 (età media del campione 35 anni) il campione è composto da soli militari, non eterogeneo per sesso e caratteristiche antropometriche	Trattamento con Virtual Mirror	Differenza significativa nella percezione del movimento riprodotto dal virtual mirror tra soggetti con CNSLBP e soggetti sani.
----------------------	-------------------	------------------------	---	--------------------------------	--

Tabella 2: studi inclusi in revisione

I tre studi che utilizzano come trattamento sperimentale tecnologie basate sulla VR o AR mostrano risultati significativi per dolore (17)(19) e aumento della funzionalità durante il movimento rispetto al trattamento standard composto da fisioterapia ed esercizi di rinforzo (22)(19): nello studio di Thomas et al. (17) che paragona l'efficacia del *Virtual Dodgeball* in VR rispetto al *usual care* ad un campione di 52 soggetti con CNSLBP e Kinesiofobia divisi rispettivamente in due gruppi, vi è un significativo miglioramento del dolore, funzionalità fisica e diminuzione di farmaci per il dolore rispetto al gruppo di controllo, non vi è tuttavia un significativo miglioramento nella flessione lombare tra i due gruppi. Nella valutazione del *risk of bias* non era chiaro come avessero gestito l'occultamento nell'assegnazione dei due gruppi, inoltre non è stato condotto in doppio cieco, un altro aspetto negativo era dato dal fatto che i soggetti che avanzavano di livello nel gioco proposto raggiungendo *target* di movimento più alto, erano incentivati da un premio in denaro. Nello studio di Yelvar et al. (19) 44 soggetti con CNSLBP e Kinesiofobia divisi in due gruppi omogenei, venivano sottoposti rispettivamente al trattamento con AR associato a fisioterapia tradizionale (gruppo sperimentale) e terapia tradizionale (gruppo di controllo), al termine dello studio il gruppo sperimentale presentava un significativo miglioramento per VAS (pre e post trattamento va da $6,00 \pm 1,06$ a $2,52 \pm 1,80$), TSK ($43,72 \pm 4,32$ pre-trattamento a $29,56 \pm 4,04$ nel post trattamento), TUG ($7,72 \pm 1,03$ pre-trattamento a $5,25 \pm 0,86$ post-trattamento) e 6 MWT ($414,31 \pm 120,74$ pre-trattamento a $504,9 \pm 130,78$ post-trattamento), mentre per la scala ODI non vi è differenza significativa tra i due gruppi. Nella valutazione del *bias* le sole criticità erano legate alla mancanza del doppio cieco durante la somministrazione del trattamento e dal fatto che il gruppo sperimentale non eseguiva esercizio fisico come camminare mentre guardava il video in AR. Nel RCT di Kim et al. (22) il campione di 30 soggetti composto da

donne di mezza età con CNSLBP è diviso in due gruppi i quali vengono trattati rispettivamente con esercizi di *Virtual Yoga* utilizzando VR e Wii® per il gruppo sperimentale ed esercizi di stabilizzazione e controllo posturale per il gruppo di controllo. I risultati dimostrano una significativa differenza a favore del gruppo sperimentale per VAS ($7,00 \pm 0,89$ a $2,27 \pm 1,10$), ODI ($34,91 \pm 6,19$ a $13,82 \pm 7,65$) e FABQ ($65,46 \pm 9,64$ a $17,55 \pm 10,67$). Lo studio di Kim et al. (22) presenta un grande rischio di *bias*, non è chiaro come siano gestite le randomizzazione, l'assegnazione dei gruppi e l'utilizzo della cecità, presenta un alto rischio di *bias* poiché il personale impiegato nella valutazione dei trattamenti era il medesimo che li eseguiva, non vi è un report selettivo dei risultati e gli *outcome* non sono direttamente correlati con la conclusione dello studio.

Nell' *exploratory study* di Roosink et al. (18) 15 militari con NSCLBP vengono trattati utilizzando *Virtual Mirror* e delle tute con *marker* di movimento chiedendo loro di eseguire dei movimenti specifici e di giudicare se il loro avatar riprodotto virtualmente sullo schermo si muovesse con la stessa ampiezza rispetto loro, lo stesso trattamento è stato eseguito su altri 15 militari che non soffrivano di LBP, il risultato di tale studio è che i soggetti affetti da CNSLBP tendevano a sovrastimare i loro movimenti riprodotti in scala uguale dall'*avatar*, giudicandoli di ampiezza e cadenza maggiore rispetto alla realtà. La valutazione del *risk of bias* per lo studio di Roosink et al. (18) non è stata condotta con lo strumento *Cochrane Handbook*, valido solo per i RCT, lo studio presentava alto rischio di *bias* per la mancanza di randomizzazione, non vi era l'utilizzo del cieco sia per il trattamento sia per la valutazione dei risultati, non vi era una selezione di questi ultimi inoltre l'intero programma di trattamento avveniva in un'unica giornata e gli *outcome* erano basati su una valutazione soggettiva del campione.

I due RCTs che sfruttano la Wii® per trattare il CNSLBP hanno paragonato l'esercizio tramite *Wii Balance Board*® associato o meno ad altri esercizi di rinforzo (20,21) e stabilità, al solo esercizio di stabilizzazione lombare o alla terapia fisica (impacchi caldi e ultrasuoni). Il RCT di Monteiro et al. (21) valuta l'efficacia dell'esercizio con *Wii Balance Board*® associato ad esercizi per il *core stability* al solo esercizio. Il campione è composto da 30 donne di età avanzata diviso in due gruppi omogenei, gli *outcome* dello studio sono il dolore misurato con scala NRS e l'equilibrio valutato con la *Wii Balance Board*® durante l'esercizio di alzarsi in piedi dalla posizione seduta a terra. Lo studio conclude affermando che non vi è differenza

significativa tra i due gruppi per dolore e per equilibrio, tuttavia il dolore è significativamente migliorato in entrambi i gruppi. Durante la valutazione del rischio di *bias* lo studio di Monteiro et al. ha mostrato un elevato rischio solo riguardo al *selective reporting*, un'altra limitazione riguardava il fatto che il campione era poco eterogeneo, reclutava infatti solo donne di mezza età. Il RCT di Park et al. (20) utilizza un campione di 24 soggetti con CNSLPB associato al lavoro, suddividendoli in 3 gruppi, ogni gruppo viene trattato con impacchi caldi, ultrasuono terapia e correnti antalgiche interferenziali; al gruppo di controllo non viene aggiunto altro, al gruppo sperimentale viene aggiunta fisioterapia con esercizi utilizzando la *Wii*[®], al gruppo di confronto viene aggiunta fisioterapia con esercizi di stabilizzazione della colonna. Gli *outcome* considerati sono il dolore misurato con VAS, la forza della muscolatura della schiena con *isometric lifting strength*, l'equilibrio con il *single leg balance test*, e la qualità della vita in relazione allo stato di salute con il *SF-36*. Al termine dello studio i risultati mostrano che non vi è significativa differenza tra i gruppi in termini di dolore, forza, equilibrio e qualità di vita. Il dolore era ridotto in modo significativo per entrambi i gruppi di esercizio con *Wii*[®] ed esercizio per la stabilizzazione della colonna lombare, mentre l'equilibrio era migliorato in modo significativo solo nel gruppo di esercizi di stabilizzazione e nel gruppo di controllo. Tuttavia lo studio di Park et al. mostra dei punti poco chiari nell'esposizione del protocollo utilizzato lasciando spazio a rischio di *bias*. Risultano infatti poco chiari i metodi utilizzati per *allocation concealment* e l'utilizzo del cieco per chi eseguiva le valutazioni dei trattamenti, mentre presentava alto rischio per la mancanza di cecità di chi eseguiva il trattamento, e per il *selective reporting*.

I due RCTs che utilizzano come *biofeedback* la EMG di superficie (23) associata o meno a dei sensori di movimento (24) mostrano risultati significativi per diminuzione del dolore e delle limitazioni durante le attività (23,24). Kent et al. (24) nel loro studio utilizzano dei sensori di movimento come *biofeedback*, il loro campione di 112 soggetti è diviso in due gruppi, il gruppo sperimentale indossa i sensori per 4-10 ore durante la giornata per 10 settimane. I sensori sono calibrati per emettere segnali acustici quando il soggetto esegue movimenti "potenzialmente dolorosi", tali movimenti sono stati identificati in una fase iniziale dello studio. Il gruppo di controllo è trattato con sensori di *biofeedback* identici a quelli del gruppo sperimentale, ma non tarati per emettere alcun segnale, inoltre esegue fisioterapia indicata dalle linee guida per il trattamento del LBP. Dopo 10 settimane di trattamento si riscontra un

significativo miglioramento del gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo nel dolore, misurato con scala VAS e nella limitazione delle attività, misurato con la *RMDQ-23* e la *PSFS*. Lo studio di Kent et al. risulta ben eseguito con un rischio di *bias* basso, tuttavia presenta rischio di *bias* elevato per non utilizzare il doppio cieco nel trattamento. Nello studio di Gatchel et al. (23) viene utilizzato un sensore per l'elettromiografia (SEMGAS) di superficie come *biofeedback*, nel trattamento del *Flexion Relaxation Phenomenon (FRP)* alterato in 140 soggetti con CNSLBP. Il campione viene diviso in 2 gruppi, il gruppo sperimentale viene trattato con SEMGAS *biofeedback*, mentre il gruppo di controllo è sottoposto ad esercizi funzionali, volti a rilassare la muscolatura e correggere il *Flexion Relaxation* alterato. In aggiunta ai due gruppi viene incluso un terzo gruppo di controllo composto da 30 soggetti senza LBP e con *Flexion Relaxation Phenomenon* corretto. Al termine dello studio il gruppo sperimentale presentava un miglioramento significativo per aumento del ROM della colonna lombare rispetto al gruppo che eseguiva esercizi e un attivazione muscolare misurata con l'EMG di superficie durante la massima flessione volontaria della colonna, simile al gruppo di controllo di soggetto sani. Lo studio di Gatchel et al. presentava un alto rischio di *bias* per la mancanza di una vera e propria randomizzazione, l'utilizzo del doppio cieco nella valutazione dei risultati, la mancanza di una completezza nel riportare gli *outcome* primari e secondari.

Discussione

L'obiettivo della nostra revisione è quello di presentare lo stato dell'arte dell'utilizzo di nuove tecnologie di *biofeedback* nel trattamento del dolore cronico nel mal di schiena non specifico. Molti studi hanno indagato l'efficacia dell'utilizzo del trattamento con VR nella prevenzione delle cadute dell'anziano (25,26) altri hanno valutato l'efficacia della VR e di strumenti innovativi di *biofeedback* nel trattamento del dolore acuto (15,27–29), entrambi i campi d'indagine hanno mostrato delle forti evidenze di successo (30,31). Circa il 60% degli studi che hanno indagato l'efficacia della VR nel trattamento del dolore acuto hanno preso in considerazione il dolore durante il trattamento delle ferite da bruciature (32), è chiaro che l'utilizzo di visori che distraggono l'attenzione e nascondano alla vista il momento della medicazione della ferita, agiscano in modo diverso a livello neurofisiologico rispetto al trattamento del dolore cronico. Paragonando il trattamento del dolore acuto, l'utilizzo della VR nel trattamento del dolore cronico è limitata in letteratura scientifica, uno studio utilizza

la VR combinata con l'ipnosi nel trattamento del dolore neuropatico cronico (33), un altro studio riduce i sintomi del prurito cronico utilizzando un'unica seduta basata sulla VR (34), altri quattro studi hanno utilizzato video game basati su VR in aggiunta alla terapia cognitiva comportamentale (CBT) nel trattamento della artrosi di ginocchio (35), della fibromialgia (36) e nel dolore neuropatico nelle lesioni midollari (37). A differenza degli studi che hanno trattato il dolore acuto, gli studi riguardanti il dolore cronico hanno sfruttato in modo approssimativo le nuove tecnologie di *biofeedback* che permettono un'immersione completa nel mondo virtuale, affiancando a tali strumenti un approccio educativo e comportamentale sul modello *graded-exposure*. La nostra ricerca ha prodotto un numero ridotto di studi, molti dei quali sono stati esclusi nello *screening* iniziale a causa dell'inadeguatezza rispetto al nostro P.I.C.O.S., alcuni studi esclusi nella fase finale erano protocolli (38,39), altri avevano come intervento il trattamento del dolore acuto (40), altri ancora non presentavano outcome di interesse o non avevano un gruppo di controllo (41–46). Gli articoli che hanno presentato i criteri necessari di inclusione sono in totale 8, dalla figura 3 è chiara la grande eterogeneità presente tra gli studi inclusi: la suddivisione applicata nella nostra revisione è stata quella di creare tre gruppi a seconda del tipo di intervento: trattamento con VR, trattamento con *Wii*[®], trattamento con sensori elettromiografici o di movimento. Uno studio che utilizza il trattamento con *Wii*[®] (21) e un altro che utilizza un insieme di *Wii*[®] e VR (22) hanno come campione, rispettivamente, sole donne di età avanzata e di mezza età. *L'exploratory study* (18) è condotto su personale militare e non specifica il sesso del campione. Alta è anche la variabilità nella scelta degli outcome e delle scale utilizzate per misurarli. Due RCTs che utilizzano la VR nel trattamento (17,19) reclutano soggetti che hanno CNSLBP associato a kinesiophobia, nei loro *outcome* è presente la *TKS*, valutano il dolore con *VAS* e *MPQ*; in entrambi gli studi vi è un miglioramento significativo del gruppo trattato con tecnologia VR rispetto al gruppo di controllo per dolore, diminuzione della paura del movimento e funzionalità durante il movimento. È chiaro come in questi studi emerga l'utilizzo della *virtual graded exposure therapy* in pazienti che presentano chiaramente problematiche correlate con il *fear-avoidance model* come la kinesiophobia. Anche il RCT di Kim et al. (22) conclude affermando che l'utilizzo della VR Yoga con *Wii Balance Board*[®] può aumentare il livello funzionale e ridurre la paura di aver dolore alla schiena durante il movimento, nelle donne di mezza età. Utilizza il *FABQ* per valutare la paura durante il movimento, la *VAS* per il dolore e il *RDQ* e il *ODI* per la disabilità legata al

dolore. Dall'analisi di questi tre RCTs (17,19,22) possiamo affermare che la VR associata o meno ad esercizio, al *gaming* e fisioterapia sembra essere più efficace nel trattare dolore, paura di movimento e disabilità rispetto al solo esercizio o alla fisioterapia.

Nel trattamento del dolore cronico con *Wii*® e *game console* presenti in letteratura, uno studio analizza l'effetto della *Wii*® nel diminuire il dolore nelle ostruzioni polmonari croniche (47), mentre un altro valuta l'utilizzo di *game console* nel trattamento di donne con fibromialgia (48). Al contrario vi è un numero elevato di studi e una systematic review (49), che valutano l'utilizzo di *game console* commerciali nel trattamento di problematiche neurologiche, malattie neurodegenerative, nella perdita di peso, nel training per l'equilibrio etc. Altri studi in letteratura utilizzano la *Wii*® per il trattamento del dolore acuto come fratture (50), lesioni da bruciatura (51) o nell'indurre analgesia (52).

Gli effetti che le console game provocano sul dolore cronico sembrano basarsi sugli stessi principi della VR, distraendo il soggetto dal dolore, impegnandolo in attività ludiche che richiedano il raggiungimento di obiettivi attraverso esercizi semplici e aumentando il controllo del movimento e l'equilibrio contribuiscono ad un aumento della rappresentazione motoria a livello corticale (4,53). I RCTs che utilizzano console *Wii*® e *Wii Balance Board*® inclusi nella nostra revisione (20,21) concludono affermando che non vi sono differenze significative tra il trattamento con *Wii*® e la fisioterapia o l'esercizio fisico per dolore, funzionalità legata alla forza della muscolatura vertebrale e all'equilibrio. Lo studio di Park et al. presenta elevato rischio di *bias* mentre quello di Monteiro et al. risulta ben fatto con basso rischio di *bias*.

Nella nostra revisione che ha come obiettivo di indagare le nuove tecnologie di *biofeedback* nel trattamento del dolore cronico abbiamo incluso oltre alla VR e al console game anche altri apparecchi come l'Elettromiografia di superficie utilizzata come *biofeedback* e sensori di movimento *wireless*. Lo studio di Gatchel et al. (23) che utilizza sensori SEMGAS imposta come *outcome* l'aumento del ROM della lombare e la diminuzione di attività elettrica della muscolatura paravertebrale durante la massima flessione volontaria (MVF) riproducendo il Flexion Relaxation Phenomenon (FRP). Nonostante non si occupi di dolore abbiamo deciso di includerlo nella revisione assumendo come aumento del ROM e correzione del FRP anormale una migliore funzione della schiena e una diminuzione della paura nel movimento. Lo studio di Kent et al. invece, utilizza sensori di movimento *wireless*.

Lo studio conclude affermando che il trattamento con SEMGAS biofeedback apporta un miglioramento significativo rispetto al gruppo di confronto che eseguiva solo esercizi volti a rilassare la muscolatura vertebrale e al termine dell'indagine non vi era differenza significativa tra il gruppo sperimentale e il gruppo di controllo di soggetti sani. Il RCT di Kent et al.(24) che utilizza sensori wireless di movimento che hanno lo scopo di segnalare al soggetto quando esegue movimenti identificati, dall'anamnesi e dalla valutazione clinica preliminare, come dolorosi. A nostro giudizio tale studio sembra contrapporsi alla teoria della *graded exposure therapy*, utilizzando il sistema di biofeedback come campanello d'allarme che rinforza l'idea che il movimento sia rischioso per il paziente. Nel LBP cronico e non specifico, il dolore che compare in alcuni range di movimento, sembra essere legato al complesso motorio neuro-cognitivo piuttosto che ad un reale stimolo nocicettivo strutturale (54). Nel trattamento del LBP cronico rafforzare il modello *fear-avoidance* avvertendo il paziente quando assume posizioni "rischiose" o catalogate come dolorose nel corso della giornata, sembra rafforzare tale modello anziché confutarlo.

In letteratura è presente una revisione sistematica che si occupa di analizzare l'efficacia del trattamento del LBP acuto, sub-acuto e cronico con esercizi supportati da strumenti tecnologici (55). Tale revisione afferma che l'utilizzo di esercizi supportati da strumenti tecnologici moderni sembra essere più efficace nel trattamento del dolore, disabilità e qualità di vita nei pazienti che soffrono di LBP cronico rispetto all'acuto. L'autore conclude che nonostante le limitazioni di molti studi e la scarsità di protocolli che uniformino gli RCTs presenti in letteratura, l'utilizzo di strumenti tecnologici per il trattamento del LBP sembra aumentare l'efficacia in termini di dolore, diminuzione della disabilità e aumento della qualità di vita rispetto al trattamento standard, al placebo o al non intervento (55).

Considerazioni sul futuro del trattamento del CNSLBP con strumenti tecnologici

La riabilitazione del CNSLBP è un processo lungo e complesso che spesso richiede l'aderenza ad un programma di autotrattamento a domicilio; dati presenti in letteratura affermano che il 50-70% dei pazienti non aderisce ad un programma di esercizi al domicilio (56,57). Questi dati non sono confortanti, l'aderenza ad un programma di esercizi *self-managed* è un fattore predittivo positivo nell'efficacia del trattamento del CNSLBP (58). L'utilizzo delle nuove tecnologie e in particolare della *virtual reality*, sembra aumentare l'interesse e il divertimento durante l'esercizio terapeutico aumentando l'aderenza al programma

terapeutico (10). La sfida futura nel trattamento del LBP cronico sarà quella che permetterà l'utilizzo di tali strumenti tecnologici al domicilio, semplificandone sempre più la gestione e rendendo sicuro ed economicamente accessibile il trattamento.

Conclusioni

Da un punto di vista qualitativo dalla nostra revisione emerge un effetto clinico positivo nell'utilizzo della virtual reality e degli strumenti di biofeedback tecnologici per il trattamento del dolore e della disabilità legata al CNSLBP. Dal nostro studio sembra che la VR , i sensori di movimento *wireless* o sensori che sfruttano l'elettromiografia di superficie come *biofeedback* hanno maggiore successo nella diminuzione di dolore e disabilità rispetto al trattamento con sola fisioterapia ed esercizi rispetto all'utilizzo di *game console*, come Wii. Tuttavia l'elevato rischio di bias presente negli studi (20,22) inclusi e la mancanza di una meta-analisi e la bassa qualità procedurale di tale revisione non permettono di affermare con sicurezza statistica tali risultati. È necessaria una suddivisione più precisa nella natura del trattamento del CNSLBP con strumenti tecnologici di *biofeedback* volto a diminuire il rischio di bias e attendere la pubblicazione di nuovi studi che indaghino in modo sistematico l'effetto della *graded exposure therapy* con nuove tecnologie di *biofeedback*.

Bibliografia

1. Center for Disease Control and Prevention. Morbidity and Mortality Weekly Report. *Morb Mortal Wkly Rep.* 2009;58(16):431–3.
2. Andersson GBJ, Bell J-E, Weinstein SL, Dormans JP, Gnatz SM, Lane N, et al. The Burden of Musculoskeletal Diseases Additional Contributing Organizations Project Coordinator Cover Design [Internet]. American Academy of Orthopaedic Surgeons. 2015. 247 p. Available from: [http://www.boneandjointburden.org/docs/The Burden of Musculoskeletal Diseases in the United States %28BMUS%29 2nd Edition %282011%29.pdf](http://www.boneandjointburden.org/docs/The%20Burden%20of%20Musculoskeletal%20Diseases%20in%20the%20United%20States%20-%202nd%20Edition%202011.pdf)
3. Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, Louw Q, Ferreira ML, Genevay S, et al. What low back pain is and why we need to pay attention. *Lancet.* 2018;6736(18).
4. Tong MH, Mousavi SJ, Kiers H, Ferreira P, Refshauge K, van Dieën J. Is There a Relationship Between Lumbar Proprioception and Low Back Pain? A Systematic Review With Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil* [Internet]. Elsevier Ltd; 2017;98(1):120–136.e2. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2016.05.016>
5. Leeuw M, Goossens MEJB, Linton SJ, Crombez G, Boersma K, Vlaeyen JWS. The fear-avoidance model of musculoskeletal pain: Current state of scientific evidence. *J Behav Med.* 2007;30(1):77–94.
6. McGlynn FD, Smitherman TA, Gothard KD. Comment on the status of systematic desensitization. *Behav Modif.* 2004;28(2):194–205.
7. Wertli MM, Eugster R, Held U, Steurer J, Kofmehl R, Weiser S. Catastrophizing - A prognostic factor for outcome in patients with low back pain: A systematic review. *Spine J* [Internet]. Elsevier Ltd; 2014;14(11):2639–57. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2014.03.003>
8. Brox JI. Current evidence on catastrophizing and fear avoidance beliefs in low back

- pain patients. *Spine J* [Internet]. Elsevier Inc.; 2014;14(11):2679–81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2014.08.454>
9. Giggins OM, Persson UMC, Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*. 2013;10(1):1–11.
 10. Trost Z, Zielke M, Guck A, Nowlin L, Zakhidov D, France CR, et al. The promise and challenge of virtual gaming technologies for chronic pain: the case of graded exposure for low back pain. *Pain Manag* [Internet]. 2015;5(3):197–206. Available from: <http://www.futuremedicine.com/doi/10.2217/pmt.15.6>
 11. Gold JI, Belmont KA, Thomas DA. The Neurobiology of Virtual Reality Pain Attenuation. *CyberPsychology Behav* [Internet]. 2007;10(4):536–44. Available from: <http://www.liebertonline.com/doi/abs/10.1089/cpb.2007.9993>
 12. Malloy KM, Milling LS. The effectiveness of virtual reality distraction for pain reduction: A systematic review. *Clin Psychol Rev* [Internet]. Elsevier Ltd; 2010;30(8):1011–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cpr.2010.07.001>
 13. Law EF, Dahlquist LM, Sil S, Weiss KE, Herbert LJ, Wohlheiter K, et al. Videogame distraction using virtual reality technology for children experiencing cold pressor pain: The role of cognitive processing. *J Pediatr Psychol*. 2011;36(1):84–94.
 14. Claes N, Karos K, Meulders A, Crombez G, Vlaeyen JWS. Competing goals attenuate avoidance behavior in the context of pain. *J Pain*. 2014;15(11):1120–9.
 15. Jameson E, Trevena J, Swain N. Electronic gaming as pain distraction. *Pain Res Manag*. 2011;16(1):27–32.
 16. Dahlquist LM, McKenna KD, Jones KK, Dillinger L, Weiss KE, Ackerman CS. Active and Passive Distraction Using a Head-Mounted Display Helmet: Effects on Cold Pressor Pain in Children. *Heal Psychol*. 2007;26(6):794–801.
 17. Thomas JS, France CR, Applegate ME, Leitkam ST, Walkowski S. Feasibility and Safety of a Virtual Reality Dodgeball Intervention for Chronic Low Back Pain: A Randomized Clinical Trial. *J Pain* [Internet]. Elsevier Ltd; 2016;17(12):1302–17. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpain.2016.08.011>

18. Roosink M, McFadyen BJ, Hébert LJ, Jackson PL, Bouyer LJ, Mercier C. Assessing the perception of trunk movements in military personnel with chronic non-specific low back pain using a virtual mirror. *PLoS One*. 2015;10(3):1–14.
19. Yilmaz Yelvar GD, Çırak Y, Dalkılıç M, Parlak Demir Y, Guner Z, Boydak A. Is physiotherapy integrated virtual walking effective on pain, function, and kinesiophobia in patients with non-specific low-back pain? Randomised controlled trial. *Eur Spine J*. 2017;26(2):538–45.
20. Park J-H, Lee S-H, Ko D-S. The Effects of the Nintendo Wii Exercise Program on Chronic Work-related Low Back Pain in Industrial Workers. *J Phys Ther Sci* [Internet]. 2013;25(8):985–8. Available from: <http://jlc.jst.go.jp/DN/JST.JSTAGE/jpts/25.985?lang=en&from=CrossRef&type=abstract>
21. Monteiro-Junior R, de Souza C, Lattari E, Rocha N, Mura G, Machado S, et al. Wii-Workouts on Chronic Pain, Physical Capabilities and Mood of Older Women: A Randomized Controlled Double Blind Trial. *CNS Neurol Disord - Drug Targets* [Internet]. 2015;14(9):1157–64. Available from: <http://www.eurekaselect.com/openurl/content.php?genre=article&issn=1871-5273&volume=14&issue=9&spage=1157>
22. Kim S-S, Min W-K, Kim J-H, Lee B-H. The Effects of VR-based Wii Fit Yoga on Physical Function in Middle-aged Female LBP Patients. *J Phys Ther Sci* [Internet]. 2014;26(4):549–52. Available from: <http://jlc.jst.go.jp/DN/JST.JSTAGE/jpts/26.549?lang=en&from=CrossRef&type=abstract>
23. Gatchel RJ, Ph D. Pain : Responsiveness to a New Biofeedback Training Protocol. 2011;26(5):403–9.
24. Kent P, Laird R, Haines T. The effect of changing movement and posture using motion-sensor biofeedback, versus guidelines-based care, on the clinical outcomes of people with sub-acute or chronic low back pain-a multicentre, cluster-randomised, placebo-controlled, pilot trial. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. ???; 2015;16(1):1–19.

Available from: ???

25. Neri SGR, Cardoso JR, Cruz L, Lima RM, Oliveira RJ De, Iversen MD, et al. Do virtual reality games improve mobility skills and balance measurements in community-dwelling older adults ? Systematic review and meta-analysis. 2017;
26. Warburton DER, Bredin SSD, Horita LTL, Zbogar D, Scott JM, Esch BTA, et al. The health benefits of interactive video game exercise. *Appl Physiol Nutr Metab* [Internet]. 2007;32(4):655–63. Available from: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/H07-038>
27. Schmitt YS, Hoffman HG, Blough DK, David R, Jensen MP, Soltani M, et al. A Randomized, Controlled Trial of Immersive Virtual Reality Analgesia during Physical Therapy for Pediatric Burn Injuries. *Burns*. 2012;37(1):61–8.
28. Sharar SR, Carrougner GJ, Nakamura D, Hoffman HG, Blough DK, Patterson DR. Factors Influencing the Efficacy of Virtual Reality Distraction Analgesia During Postburn Physical Therapy: Preliminary Results from 3 Ongoing Studies. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007;88(12 SUPPL. 2):43–9.
29. Baños RM, Botella C, Guerrero B, Liaño V, Alcañiz M, Rey B. The third pole of the sense of presence: Comparing virtual and imagery spaces. *PsychNology J*. 2005;3(1):90–100.
30. Primack BA, Carroll M V, Mcnamara M, Lou M, King B, Rich MO, et al. Role of Video Games in Improving Health-Related Outcomes: A Systematic Review. *Am J Prev Med*. 2012;42(6):630–8.
31. Van Diest M, Lamoth CJ, Stegenga J, Verkerke GJ, Postema K. Exergaming for balance training of elderly: State of the art and future developments. *J Neuroeng Rehabil* [Internet]. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*; 2013;10(1):1. Available from: *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*
32. Garrett B, Taverner T, Masinde W, Gromala D, Shaw C, Negraeff M. A rapid evidence assessment of immersive virtual reality as an adjunct therapy in acute pain management in clinical practice. *Clin J Pain*. 2014;30(12):1089–98.
33. Oneal B, Patterson D. Virtual Reality Hypnosis In the Treatment Of Chronic

- Neuropathic Pain: A Case Report. *Intl J Clin ...* [Internet]. 2008;56(4). Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207140802255534>
34. Leibovici V, Magora F, Cohen S, Ingber A. Effects of virtual reality immersion and audiovisual distraction techniques for patients with pruritus. *Pain Res Manag.* 2009;14(4):283–6.
 35. Lin DH, Lin YF, Chai HM, Han YC, Jan MH. Comparison of proprioceptive functions between computerized proprioception facilitation exercise and closed kinetic chain exercise in patients with knee osteoarthritis. *Clin Rheumatol.* 2007;26(4):520–8.
 36. Botella C, Garcia-Palacios A, Vizcaíno Y, Herrero R, Baños RM, Belmonte MA. Virtual Reality in the Treatment of Fibromyalgia: A Pilot Study. *Cyberpsychology, Behav Soc Netw* [Internet]. 2013;16(3):215–23. Available from: <http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/cyber.2012.1572>
 37. Villiger M, Bohli D, Kiper D, Pyk P, Spillmann J, Meilick B, et al. Virtual reality-augmented neurorehabilitation improves motor function and reduces neuropathic pain in patients with incomplete spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair.* 2013;27(8):675–83.
 38. Ribeiro DC, Milosavljevic S, Abbott JH. Effectiveness of a lumbopelvic monitor and feedback device to change postural behaviour: A protocol for the ELF cluster randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2017;7(1).
 39. Zadro JR, Shirley D, Simic M, Mousavi SJ, Cepnija D, Maka K, et al. Video-game based exercises for older people with chronic low back pain: a protocol for a feasibility randomised controlled trial (the GAMEBACK trial). *Physiother (United Kingdom)* [Internet]. The Chartered Society of Physiotherapy; 2017;103(2):146–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physio.2016.05.004>
 40. Intolo P, Carman AB, Milosavljevic S, Abbott JH, Baxter GD. The Spineangel®: Examining the validity and reliability of a novel clinical device for monitoring trunk motion. *Man Ther* [Internet]. Elsevier Ltd; 2010;15(2):160–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.math.2009.10.002>

41. Koh E kyung, Park K nam, Jung D young. Effect of feedback techniques for lower back pain on gluteus maximus and oblique abdominal muscle activity and angle of pelvic rotation during the clam exercise. *Phys Ther Sport* [Internet]. Elsevier Ltd; 2016;22:6–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.04.004>
42. Schelldorfer S, Ernst MJ, Rast FM, Bauer CM, Meichtry A, Kool J. Low back pain and postural control, effects of task difficulty on centre of pressure and spinal kinematics. *Gait Posture*. 2015;41(1):112–8.
43. Palazzo C, Klinger E, Dorner V, Kadri A, Thierry O, Boumenir Y, et al. Barriers to home-based exercise program adherence with chronic low back pain: Patient expectations regarding new technologies. *Ann Phys Rehabil Med*. 2016;59(2):107–13.
44. Citrome L. Ride 'em cowboy! The therapeutics of virtual reality technology and simulation. *Int J Clin Pract*. 2014;68(8):931.
45. Michoński J, Walesiak K, Pakuła A, Glinkowski W, Sitnik R. Monitoring of spine curvatures and posture during pregnancy using surface topography - case study and suggestion of method. *Scoliosis Spinal Disord*. 2016;11(Suppl 2).
46. Howell JN, Conatser RR, Williams RL, Burns JM, Eland DC. The virtual haptic back: A simulation for training in palpatory diagnosis. *BMC Med Educ*. 2008;8:1–8.
47. Wardini R, Dajczman E, Yang N, Baltzan M, Préfontaine D, Stathatos M, et al. Using a virtual game system to innovate pulmonary rehabilitation: Safety, adherence and enjoyment in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Can Respir J*. 2013;20(5):357–61.
48. Mortensen J, Kristensen LQ, Brooks EP, Brooks AL. Women with fibromyalgia's experience with three motion-controlled video game consoles and indicators of symptom severity and performance of activities of daily living. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2015;10(1):61–6.
49. Bonnechère B, Jansen B, Omelina L, Van Sint Jan S. The use of commercial video games in rehabilitation: A systematic review. *Int J Rehabil Res*. 2016;39(4):277–90.
50. Brown CN, McKenna P. A Wii-Related Clay-Shoveler's Fracture. *Sci World J* [Internet].

2009;9:1190–1. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19882086>

51. Yohannan SK, Tufaro PA, Hunter H, Orleman L, Palmatier S, Sang C, et al. The utilization of Nintendo® Wii™ during burn rehabilitation: A pilot study. *J Burn Care Res.* 2012;33(1):36–45.
52. Carey C, Naugle KE, Aqeel D, Ohlman T, Naugle KM. Active Gaming as a Form of Exercise to Induce Hypoalgesia. *Games Health J* [Internet]. 2017;6(4):g4h.2017.0024. Available from: <http://online.liebertpub.com/doi/10.1089/g4h.2017.0024>
53. Hammond J, Jones V, Hill EL, Green D, Male I. An investigation of the impact of regular use of the Wii Fit to improve motor and psychosocial outcomes in children with movement difficulties: A pilot study. *Child Care Health Dev.* 2014;40(2):165–75.
54. Nijs J, Apeldoorn A, Hallegraeff H, Clark J, Smeets R, Malfliet A, et al. Low back pain: guidelines for the clinical classification of predominant neuropathic, nociceptive, or central sensitization pain. *Pain Physician* [Internet]. 2015;18(3):E333-46. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26000680>
55. Matheve T, Brumagne S, Timmermans AAA. The Effectiveness of Technology-Supported Exercise Therapy for Low Back Pain. *Am J Phys Med Rehabil.* 2017;96(5):347–56.
56. Friedrich M, Gittler G, Halberstadt Y, Cermak T, Heiller I. Combined exercise and motivation program: Effect on the compliance and level of disability of patients with chronic low back pain: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79(5):475–87.
57. Härkäpää K, Järviikoski A, Mellin G, Hurri H, Luoma J. Health locus of control beliefs and psychological distress as predictors for treatment outcome in low-back pain patients : results of a 3-month follow-up of a controlled intervention study. *Pain.* 1991;46:35–41.
58. Mannion AF, Helbling D, Pulkovski N, Sprott H. Spinal segmental stabilisation exercises for chronic low back pain: Programme adherence and its influence on clinical outcome. *Eur Spine J.* 2009;18(12):1881–91.

