



Université
de Poitiers



Université de Poitiers

Faculté de Médecine et Pharmacie

Année 2023 - 2024

THESE

Thèse de spécialité en Médecine Physique et de Réadaptation
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE
(décret du 25 novembre 2016)

Présentée et soutenue publiquement
Le 8 septembre 2023 à Poitiers
Par Monsieur Alexis DUMAS

Titre

Apport de la réalité virtuelle dans la gestion de la douleur procédurale lors
des injections de toxine botulique chez l'adulte spastique : une étude pilote

Composition du Jury

Président : Monsieur le Professeur Jean Christophe DAVIET

Membres :

Monsieur le Professeur Jean Yves SALLE

Monsieur le Docteur Maxence COMPAGNAT, Maître de conférences universitaire

Madame le Docteur Élodie CHARRIER

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Romain DAVID

Université de Poitiers

Faculté de Médecine et Pharmacie

Année 2023 - 2024

THESE

Thèse de spécialité en Médecine Physique et de Réadaptation

POUR LE DIPLOME D'ETAT

DE DOCTEUR EN MEDECINE

(décret du 25 novembre 2016)

Présentée et soutenue publiquement

Le 8 septembre 2023 à Poitiers

Par Monsieur Alexis DUMAS

Titre

Apport de la réalité virtuelle dans la gestion de la douleur procédurale lors des injections de toxine botulique chez l'adulte spastique : une étude pilote

Composition du Jury

Président : Monsieur le Professeur Jean Christophe DAVIET

Membres :

Monsieur le Professeur Jean Yves SALLE

Monsieur le Docteur Maxence COMPAGNAT, Maître de conférences universitaire

Madame le Docteur Élodie CHARRIER

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Romain DAVID

LISTE DES ENSEIGNANTS

Année universitaire 2022 – 2023

SECTION MEDECINE

Professeurs des Universités-Praticiens Hospitaliers

- BINET Aurélien, chirurgie infantile
- BOISSON Matthieu, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- BOULETI Claire, cardiologie
- BOURMEYSTER Nicolas, biologie cellulaire
- BRIDOUX Frank, néphrologie
- BURUCOA Christophe, bactériologie-virologie
- CHEZE-LE REST Catherine, biophysique et médecine nucléaire
- CHRISTIAENS Luc, cardiologie
- CORBI Pierre, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- COUDROY Rémi, médecine intensive-réanimation – **Assesseur 2nd cycle**
- DAHUYOT-FIZELIER Claire, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- DEBIAIS Françoise, rhumatologie
- DONATINI Gianluca, chirurgie viscérale et digestive
- DROUOT Xavier, physiologie – **Assesseur recherche**
- DUFOUR Xavier, Oto-Rhino-Laryngologie – **Assesseur 2nd cycle, stages hospitaliers**
- FAURE Jean-Pierre, anatomie
- FRASCA Denis, anesthésiologie-réanimation
- FRITEL Xavier, gynécologie-obstétrique
- GERVAIS Elisabeth, rhumatologie
- GICQUEL Ludovic, pédopsychiatrie
- GILBERT-DUSSARDIER Brigitte, génétique
- GOMBERT Jean-Marc, immunologie
- GOUJON Jean-Michel, anatomie et cytologie pathologiques
- GUILLIVIN Rémy, radiologie et imagerie médicale
- HAUET Thierry, biochimie et biologie moléculaire
- ISAMBERT Nicolas, cancérologie
- JAAFARI Nematollah, psychiatrie d'adultes
- JABER Mohamed, cytologie et histologie
- JAYLE Christophe, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- KARAYAN-TAPON Lucie, cancérologie
- KEMOUN Gilles, médecine physique et de réadaptation (*en disponibilité*)
- LECLERE Franck, chirurgie plastique, reconstructrice
- LECRON Jean-Claude, biochimie et biologie moléculaire
- LELEU Xavier, hématologie
- LEVEQUE Nicolas, bactériologie-virologie – **Assesseur 1^{er} cycle**
- LEVEZIEL Nicolas, ophtalmologie
- MACCHI Laurent, hématologie
- MCHEIK Jiad, chirurgie infantile
- MEURICE Jean-Claude, pneumologie
- MILLOT Frédéric, pédiatrie, oncologie pédiatrique
- MIMOZ Olivier, médecine d'urgence
- NASR Nathalie, neurologie
- NEAU Jean-Philippe, neurologie – **Assesseur pédagogique médecine**
- ORIOU Denis, pédiatrie
- PACCALIN Marc, gériatrie – **Doyen, Directeur de la section médecine**
- PERAULT-POCHAT Marie-Christine, pharmacologie clinique

- PERDRISOT Rémy, biophysique et médecine nucléaire – **Assesseur L.AS et 1^{er} cycle**
- PERRAUD CATEAU Estelle, parasitologie et mycologie
- PRIES Pierre, chirurgie orthopédique et traumatologique
- RAMMAERT-PALTRIE Blandine, maladies infectieuses
- RICHER Jean-Pierre, anatomie
- RIGOARD Philippe, neurochirurgie
- ROBLOT France, maladies infectieuses, maladies tropicales
- ROBLOT Pascal, médecine interne
- SAULNIER Pierre-Jean, thérapeutique
- SCHNEIDER Fabrice, chirurgie vasculaire
- SILVAIN Christine, gastro-entérologie, hépatologie – **Assesseur 3^e cycle**
- TASU Jean-Pierre, radiologie et imagerie médicale
- THIERRY Antoine, néphrologie – **Assesseur 1^{er} cycle**
- THILLE Arnaud, médecine intensive-réanimation
- TOUGERON David, gastro-entérologie
- WAGER Michel, neurochirurgie
- XAVIER Jean, pédopsychiatrie

Maîtres de Conférences des Universités-Praticiens Hospitaliers

- ALBOUY Marion, santé publique – **Référente égalité-diversité**
- ALLAIN Géraldine, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire (*en mission 1 an à/c 01/11/2022*)
- BEN-BRIK Eric, médecine du travail (*en détachement*)
- BILAN Frédéric, génétique
- CAYSSIALS Emilie, hématologie
- CREMNITER Julie, bactériologie-virologie
- DIAZ Véronique, physiologie – **Référente relations internationales**
- EGLOFF Matthieu, histologie, embryologie et cytogénétique
- FROUIN Eric, anatomie et cytologie pathologiques
- GACHON Bertrand, gynécologie-obstétrique (*en dispo 1 an à/c du 31/07/2022*)
- GARCIA Magali, bactériologie-virologie
- GUENEZAN Jérémy, médecine d'urgence
- JAVAUGUE Vincent, néphrologie
- JUTANT Etienne-Marie, pneumologie
- KERFORNE Thomas, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire (*en mission 1 an à/c 01/11/2022*)
- LAFAY-CHEBASSIER Claire, pharmacologie clinique
- LIUU Evelynne, gériatrie
- MARTIN Mickaël, médecine interne – **Assesseur 2nd cycle**
- PALAZZO Paola, neurologie (*en dispo 3 ans à/c du 01/07/2020*)
- PICHON Maxime, bactériologie-virologie
- PIZZOFERRATO Anne-Cécile, gynécologie-obstétrique
- RANDRIAN Violaine, gastro-entérologie, hépatologie
- SAPANET Michel, médecine légale
- THUILLIER Raphaël, biochimie et biologie moléculaire
- VALLEE Maxime, urologie

Professeur des universités

- PELLERIN Luc, biochimie et biologie moléculaire

Professeur des universités de médecine générale

- BINDER Philippe

Maître de Conférences des universités de médecine générale

- MIGNOT Stéphanie

Professeur associé des universités des disciplines médicales

- FRAT Jean-Pierre, médecine intensive-réanimation

Maître de Conférences associé des universités des disciplines médicales

- HARIKA-GERMANEAU Ghina, psychiatrie d'adultes

Professeurs associés de médecine générale

- ARCHAMBAULT Pierrick
- AUDIER Pascal
- BIRAULT François
- BRABANT Yann
- FRECHE Bernard
- PARTHENAY Pascal

Maîtres de Conférences associés de médecine générale

- BONNET Christophe
- DU BREUILLAC Jean
- JEDAT Vincent

Professeurs émérites

- GIL Roger, neurologie (08/2023)
- GUILHOT-GAUDEFFROY François, hématologie et transfusion (08/2023)
- HERPIN Daniel, cardiologie (08/2023)
- INGRAND Pierre, biostatistiques, informatique médicale (08/2025)
- MARECHAUD Richard, médecine interne (24/11/2023)
- RICCO Jean-Baptiste, chirurgie vasculaire (08/2024)
- ROBERT René, médecine intensive-réanimation (30/11/2024)
- SENON Jean-Louis, psychiatrie d'adultes (08/2023)
- TOUCHARD Guy, néphrologie (08/2023)

Professeurs et Maîtres de Conférences honoraires

- AGIUS Gérard, bactériologie-virologie
- ALCALAY Michel, rhumatologie
- ALLAL Joseph, thérapeutique (ex-émérite)
- ARIES Jacques, anesthésiologie-réanimation
- BABIN Michèle, anatomie et cytologie pathologiques
- BABIN Philippe, anatomie et cytologie pathologiques
- BARBIER Jacques, chirurgie générale (ex-émérite)
- BARRIERE Michel, biochimie et biologie moléculaire
- BECQ-GIRAUDON Bertrand, maladies infectieuses, maladies tropicales (ex-émérite)
- BEGON François, biophysique, médecine nucléaire
- BOINOT Catherine, hématologie – transfusion
- BONToux Daniel, rhumatologie (ex-émérite)
- BURIN Pierre, histologie
- CARRETIER Michel, chirurgie viscérale et digestive (ex-émérite)
- CASTEL Olivier, bactériologie-virologie ; hygiène
- CASTETS Monique, bactériologie -virologie – hygiène
- CAVELLIER Jean-François, biophysique et médecine nucléaire
- CHANSIGAUD Jean-Pierre, biologie du développement et de la

reproduction

- CLARAC Jean-Pierre, chirurgie orthopédique
- DABAN Alain, oncologie radiothérapie (ex-émérite)
- DAGREGORIO Guy, chirurgie plastique et reconstructrice
- DEBAENE Bertrand, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- DESMAREST Marie-Cécile, hématologie
- DEMANGE Jean, cardiologie et maladies vasculaires
- DORE Bertrand, urologie (ex-émérite)
- EUGENE Michel, physiologie (ex-émérite)
- FAUCHERE Jean-Louis, bactériologie-virologie (ex-émérite)
- FONTANEL Jean-Pierre, Oto-Rhino Laryngologie (ex-émérite)
- GOMES DA CUNHA José, médecine générale (ex-émérite)
- GRIGNON Bernadette, bactériologie
- GUILLARD Olivier, biochimie et biologie moléculaire
- GUILLET Gérard, dermatologie
- JACQUEMIN Jean-Louis, parasitologie et mycologie médicale
- KAMINA Pierre, anatomie (ex-émérite)
- KITZIS Alain, biologie cellulaire (ex-émérite)
- KLOSSEK Jean-Michel, Oto-Rhino-Laryngologie
- KRAIMPS Jean-Louis, chirurgie viscérale et digestive
- LAPIERRE Françoise, neurochirurgie (ex-émérite)
- LARSEN Christian-Jacques, biochimie et biologie moléculaire
- LEVARD Guillaume, chirurgie infantile
- LEVILLAIN Pierre, anatomie et cytologie pathologiques
- MAIN de BOISSIERE Alain, pédiatrie
- MARCELLI Daniel, pédopsychiatrie (ex-émérite)
- MARILLAUD Albert, physiologie
- MAUCO Gérard, biochimie et biologie moléculaire (ex-émérite)
- MENU Paul, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire (ex-émérite)
- MORICHAU-BEAUCHANT Michel, hépato-gastro-entérologie
- MORIN Michel, radiologie, imagerie médicale
- PAQUEREAU Joël, physiologie
- POINTREAU Philippe, biochimie
- POURRAT Olivier, médecine interne (ex-émérite)
- REISS Daniel, biochimie
- RIDEAU Yves, anatomie
- RODIER Marie-Hélène, parasitologie et mycologie
- SULTAN Yvette, hématologie et transfusion
- TALLINEAU Claude, biochimie et biologie moléculaire
- TANZER Joseph, hématologie et transfusion (ex-émérite)
- TOURANI Jean-Marc, oncologie
- VANDERMARCO Guy, radiologie et imagerie médicale

SECTION PHARMACIE

Professeurs des universités-praticiens hospitaliers

- COUET William, pharmacie clinique
- DUPUIS Antoine, pharmacie clinique – **Assesseur pédagogique pharmacie**
- FOUCHER Yohann, biostatistiques
- MARCHAND Sandrine, pharmacologie, pharmacocinétique
- RAGOT Stéphanie, santé publique

Professeurs des universités

- BODET Charles, microbiologie
- CARATO Pascal, chimie thérapeutique
- FAUCONNEAU Bernard, toxicologie
- GUILLARD Jérôme, pharmacochimie
- IMBERT Christine, parasitologie et mycologie médicale
- OLIVIER Jean-Christophe, pharmacie galénique, biopharmacie et pharmacie industrielle
- PAGE Guylène, biologie cellulaire, biothérapeutiques
- RABOUAN Sylvie, chimie physique, chimie analytique
- SARROUILHE Denis, physiologie humaine – **Directeur de la section pharmacie**

Maîtres de conférences des universités-praticiens hospitaliers

- BARRA Anne, immuno-hématologie
- BINSON Guillaume, pharmacie clinique
- THEVENOT Sarah, hygiène, hydrologie et environnement

Maîtres de conférences

- BARRIER Laurence, biochimie générale et clinique
- BON Delphine, biophysique
- BRILLAUD Julien, pharmacocinétique, biopharmacie
- BUYCK Julien, microbiologie
- CHAUZY Alexia, pharmacologie fondamentale et thérapeutique
- DEBORDE-DELAGE Marie, chimie analytique
- DELAGE Jacques, biomathématiques, biophysique
- FAVOT-LAFORGE Laure, biologie cellulaire et moléculaire (HDR)
- GIRARDOT Marion, biologie végétale et pharmacognosie
- GREGOIRE Nicolas, pharmacologie et pharmacométrie (HDR)
- HUSSAIN Didja, pharmacie galénique (HDR)
- INGRAND Sabrina, toxicologie
- MARIVINGT-MOUNIR Cécile, pharmacochimie
- PAIN Stéphanie, toxicologie (HDR)
- PINET Caroline, physiologie, anatomie humaine
- RIOUX-BILAN Agnès, biochimie – **Référente CNAES – Responsable du dispositif COME'in**
- TEWES Frédéric, chimie et pharmacotechnie
- THOREAU Vincent, biologie cellulaire et moléculaire
- WAHL Anne, phytothérapie, herborisation, aromathérapie

Maîtres de conférences associés - officine

- DELOFFRE Clément, pharmacien
- ELIOT Guillaume, pharmacien
- HOUNKANLIN Lydwin, pharmacien

CENTRE DE FORMATION UNIVERSITAIRE EN ORTHOPHONIE (C.F.U.O.)

- GICQUEL Ludovic, PU-PH, **directeur du C.F.U.O.**
- VERON-DELOR Lauriane, maître de conférences en psychologie

ENSEIGNEMENT DE L'ANGLAIS

- DEBAIL Didier, professeur certifié

CORRESPONDANTS HANDICAP

- Pr PERDRISOT Rémy, section médecine
- Dr RIOUX-BILAN Agnès, section pharmacie

Remerciement

Aux membres du jury

À Monsieur le Professeur Jean Christophe DAVIET qui me fait l'honneur de présider cette thèse, je vous remercie pour tout le temps et l'attention que vous avez consacrés à ce travail. Je vous remercie également de l'intérêt que vous avez porté sur le déroulé de ma formation. Soyez assuré de ma sincère reconnaissance.

À Monsieur le Professeur Jean Yves SALLE, vous avez accepté de juger mon travail et je vous en remercie. Merci pour votre accompagnement et de l'intérêt que vous avez portés sur le déroulé de ma formation. Soyez assuré de mon respect et de ma gratitude.

À Monsieur le Docteur Maxence COMPAGNAT, vous avez accepté de juger mon travail et je vous en remercie. Soyez assuré de mon respect et de ma gratitude.

À Madame le Docteur Elodie CHARRIER, vous avez accepté de juger mon travail et je vous en remercie. Soyez assuré de mon respect et de ma gratitude.

À Monsieur le Docteur Romain DAVID qui me fait l'honneur de diriger ce travail. Merci d'avoir encadré ce travail, de l'avoir critiqué et valorisé. C'est pour moi un honneur d'avoir pu le réaliser avec toi.

Soit assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect pour ton implication dans ma formation, pour tout ce que tu m'as appris, et cela bien avant que je sois interne. Tu as su me donner le gout de la MPR et sans nul doute influencé mon choix de devenir interne de MPR à Poitiers.

À mes chefs, co-internes, famille et amis

Au Docteur Laura MAININI, merci pour tout ce que tu m'as transmis, ton savoir, ta rigueur et ta bienveillance. Tu as plus que tout autre fait de moi le médecin que je serai demain.

Au Docteur Rémi CABIROL, merci de m'avoir accompagné dans cette période difficile qu'est le début de l'internat.

Aux Docteurs Anne JOSSART et Anne DEBAUBIER qui m'ont fait découvrir la MPR alors que je n'étais encore qu'un jeune étudiant en médecine. Merci pour votre bienveillance et vos enseignements.

Aux Docteurs LOUIS, LAPOULVEREYRIE, REITBERGER, BELKACEMI, GUEUDET, NAVARRE, PARIS et à l'ensemble des équipes du Grand Feu qui m'avaient accueilli à Niort alors que je n'étais qu'un jeune interne. Merci pour tout ce que vous m'avez transmis.

Aux Docteurs MEKLAT, FOUCAULT, CAUDAL, DOLEZ, TRUCHON, TULOUP et à l'ensemble des équipes du Centre Richelieu pour votre accueil, votre sympathie et votre goût de la transmission.

Au Professeur PARRATTE, je vous remercie de m'avoir partagé votre passion de l'anatomie et de la rééducation pédiatrique.

Au Professeur DINOMAS, aux Docteurs CHRISTIAENS, BEAUMESNIL, COELHO et ROUSSEAU qui m'avaient accueilli à Angers. Vous m'avez fait découvrir avec passion le monde de la pédiatrie. Merci pour tout le temps que vous m'avez consacré. Soyez assuré de ma reconnaissance.

Aux Docteurs PIN, PRAT, MERCEA et LURTON. Merci pour votre accueil et votre transmission de la neurologie pour un interne qui avait tout à apprendre.

À Quentin, Estelle, Safa et Nathan, ces cointrnes qui sont bien plus que cela, des amis sans qui le temps aurait paru plus long.

À Denis, merci pour tout ce que tu as représenté dans ma formation.

À Antoine, mon fidèle compagnon depuis nos tout débuts en médecine, et à Adeline, merci pour tous ces moments que nous avons partagé tous les trois.

À mes amis JF, Fanny, Margaux, Thomas, Gontran, Camille, Sophie et tous ceux que je n'ai pas cités sur ces quelques lignes, un grand merci pour tout.

À mes amis de La Contrie merci pour ces moments partagés.

À ma famille, à mes parents, ma sœur, merci pour votre soutien sans faille depuis toujours.

À Marie, ton amour et ton soutien sont une force au quotidien. Tu m'as toujours soutenu et t'en serais éternellement reconnaissant.

I. Table des matières

II. Abréviations	2
III. Liste des figures.....	3
IV. Liste des tableaux.....	4
V. Introduction	5
V.1 Généralités sur la spasticité et sa prise en charge.....	5
V.1.1 Le réflexe myotatique	5
V.1.2 La voie motrice	6
V.1.3 Le syndrome pyramidal et la spasticité :	7
V.1.4 Épidémiologie de la spasticité	9
V.1.5 Recommandations de prise en charge de la spasticité	10
V.2 Généralités sur la toxine botulique et ses indications	14
V.2.1 Mécanismes d'actions	14
V.2.2 Modalités d'utilisation	16
V.3 La réalité virtuelle.....	16
V.3.1 Généralités.....	16
V.3.2 Utilisation de la réalité virtuelle dans la prise en charge de la douleur	17
V.4 Hypothèse formulée	19
VI. Méthode	20
VI.1 Design.....	20
VI.2 Critères d'inclusion et d'exclusion	20
VI.3 Procédure.....	20
VI.4 Critère de jugement principal	22
VI.5 Critères de jugement secondaires	22
VI.6 Analyses statistiques.....	22
VII. Résultats	23
VII.1 Participants	23
VII.2 Critères de jugement principal et secondaire	25
VIII. Discussion.....	27
IX. Conclusion	29
X. Bibliographie	30
XI. Annexes	35
XII. Résumé	47
XIII. SERMENT	49

II. Abréviations

AROM : Active Range Of Motion

ATU : Autorisation Temporaire d'Utilisation

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

CIF : Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

EN : Échelle Numérique

FLACC : Face, Legs, Activity, Cry, Consolability scale

IASP : International Association for the Study of Pain

MAS : Modified Ashworth Scale

MEOPA : Mélange Equimolaire d'Oxygène - Protoxyde d'Azote

MIF : Mesure de l'Indépendance Fonctionnelle

PROM : Passive Range Of Motion

RV : Réalité Virtuelle

SEP : Sclérose En Plaques

SDR : Selective Dorsal Rhizotomy

TENS : Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation

III. Liste des figures

Figure 1 Réflexe d'étirement monosynaptique. Tiré de [1].	5
Figure 2 Les voies motrices. Tiré de [8]	7
Figure 3 Description des signes positifs et négatifs du syndrome pyramidal. D'après Thibaut et al., 2013 [11]	8
Figure 4 Schématisation des traitements de la spasticité	13
Figure 5 Prise en charge de la spasticité d'un AVC ancien (mois ou année). Tiré de [23]	14
Figure 6 Internalisation de la toxine dans la terminaison nerveuse. Tiré de [47]	15
Figure 7 Installation du patient avec le casque de réalité virtuelle	21
Figure 8 Exemple de visuel vu par le patient (issue de https://hypnovr.io/fr/)	22
Figure 9 Moyenne de la douleur et de l'anxiété pendant la procédure avec et sans RV	27

IV. Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristiques des patients.....	23
Tableau 2 Injections aux membres supérieurs	24
Tableau 3 Injections aux membres inférieurs	25
Tableau 4 Comparaison des critères principaux et secondaires	26

V. Introduction

V.1 Généralités sur la spasticité et sa prise en charge

V.1.1 Le réflexe myotatique

Le réflexe myotatique, aussi appelé réflexe d'étirement, est une contraction d'un muscle en réponse à son propre étirement. C'est un système de défense contre l'étirement excessif du muscle et il permet ainsi de réaliser un mouvement volontaire de façon harmonieuse [1,2].

Des récepteurs au sein des fuseaux neuromusculaires vont détecter l'allongement du muscle et transmettre, par l'intermédiaire de fibre sensitive Ia, vers la moelle épinière un stimulus afférent au motoneurone α du muscle concerné. Ce stimulus va transiter par le motoneurone α (stimulus efférent) et entraîner la contraction du muscle en réponse. C'est donc un réflexe monosynaptique [3]. Les fibres Ia vont également se projeter sur des interneurones inhibiteurs reliés aux motoneurones α des muscles antagonistes afin qu'ils n'interfèrent pas avec la réponse du muscle agoniste. Cela constitue un réflexe d'inhibition réciproque qui est polysynaptique. Toute cette boucle réflexe est soumise à des contrôles segmentaires périphériques (le motoneurone gamma qui peut modifier la sensibilité à l'étirement du fuseau neuromusculaire) ainsi que des contrôles centraux supra-spinaux (cortex moteur, cervelet) [4–7].

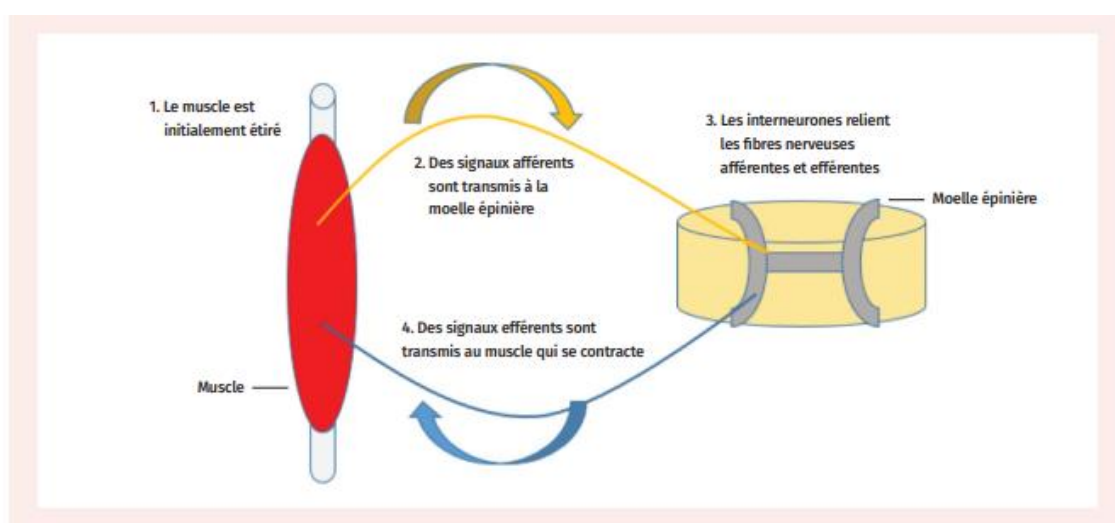


Figure 1 Réflexe d'étirement monosynaptique. Tiré de [1].

V.1.2 La voie motrice

La voie pyramidale véhicule les ordres moteurs aux muscles. Elle est constituée d'un premier neurone, de forme pyramidale, situé au niveau du cortex moteur.

Les fibres motrices vont ensuite cheminer en empruntant la capsule interne pour descendre vers le tronc cérébral. Les fibres destinées à l'innervation motrice des membres et du tronc vont en partie décrosser au niveau du bulbe puis se poursuivre dans le cordon latéral de la moelle, formant ainsi le faisceau cortico-spinal dorsal, et une faible partie ne va pas décrosser dans le bulbe et va former le faisceau cortico-spinal ventral situé dans la partie ventrale de la moelle. Il décrossera ensuite à chaque étage médullaire. Ces faisceaux vont ensuite se terminer en une synapse avec le motoneurone des nerfs spinaux, au niveau de la corne ventrale de la moelle, innervant chaque muscle à chaque niveau métamérique.

Les nerfs spinaux vont émerger de la colonne vertébrale formant les racines nerveuses, se regrouper et se diviser entre elles, avec les branches sensitives, en formant des troncs puis des nerfs (formant des plexus) et rejoindre les muscles concernés en formant la plaque motrice.

À cette motricité volontaire est associée une motricité automatique afin d'assurer le bon déroulement du geste volontaire comme la tonicité musculaire, les mouvements associés pour la réalisation du geste par exemple. Ainsi des fibres cortico-striées (donc en direction des corps striés), des fibres cortico-rubriques (en direction du noyau rouge), des fibres cortico-nigriques (en direction de la substance noire) et des fibres cortico-cérébelleuses (en direction du cervelet) vont intervenir dans cette motricité non volontaire. Ces fibres, dites parapyramidales, sont issues des aires prémotrices du cortex frontal et semblent jouer un rôle inhibiteur dans la régulation du tonus musculaire. Une lésion de la voie pyramidale serait donc accompagnée d'une lésion de ces fibres et donc d'une hypertonie des muscles paralysés.

De même qu'avec le faisceau cortico-spinal pour la motricité volontaire, la motricité non volontaire va avoir des projections spinales via les faisceaux rubro-spinal, réticulo-spinal ventral, dans la partie ventrale de la moelle, et réticulo spinal dorsale, dans le cordon latéral de la moelle, impliqué dans l'inhibition musculaire. En raison de leur contiguïté anatomique, les lésions des faisceaux cortico-spinal dorsal et réticulo spinal dorsal sont associées. Il en résulte une paralysie ainsi que la suppression de l'effet

inhibiteur du tonus du faisceau réticulo-spinal dorsal. Les réflexes de la moelle seront donc exagérés [8,9].

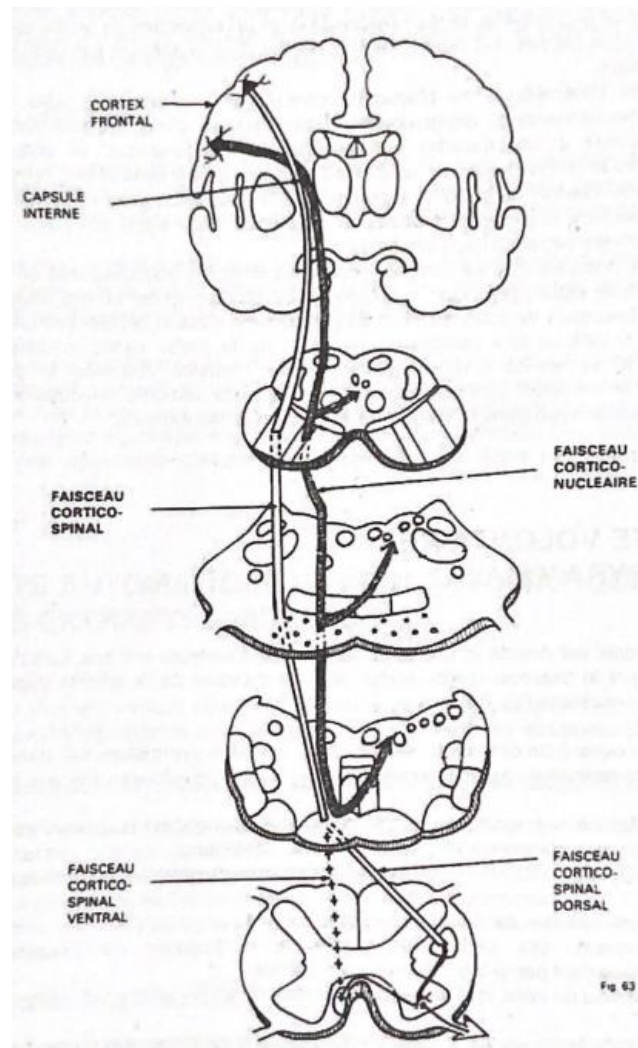


Figure 2 Les voies motrices. Tiré de [8]

V.1.3 Le syndrome pyramidal et la spasticité :

Le syndrome pyramidal représente l'ensemble des signes cliniques résultant d'une lésion de la voie pyramidale. Ces signes cliniques sont divisés en signes positifs tels que les anomalies des réflexes cutanés, des anomalies des réflexes ostéotendineux, des syncinésies, des co-contractions, ainsi que des troubles du tonus, dont une hypertonie spastique [10], et en signes négatifs, dont le déficit moteur, la fatigabilité ainsi que la perte de dextérité [11].

<i>Positive signs</i>	
Increased tendon reflexes	Result from hyperexcitability of the stretch reflex
Clonus	Series of involuntary, rhythmic, muscular contractions and relaxations due to a self re-excitation of hyperactive stretch reflexes in the affected muscle
Positive Babinski sign	Extension of the big toe, while the other toes fan outwardly in response to rubbing of the sole of the foot. It indicates a lesion of the corticospinal tract
Spasticity	Muscle hypertonia during movement (active or passive), dependent upon velocity of muscle stretch
Extensor/flexor spasms	Spasms occur spontaneously or in response to stimulation (movement of the leg, change of position). The most common pattern of flexor spasm is flexion of the hip, knee and ankle
Spastic co-contraction (during movement)	Agonist and antagonist muscles co-contract simultaneously inappropriately and thus disrupt normal limb movement. This is due to the perturbation of the spinal reflexes that contribute to reciprocal innervation
Associated reactions and other dyssynergic stereotypical spastic dystonia	Remote form of synkinesis due to a failure to inhibit spread of motor activity (e.g. flexion of the elbow simultaneously to flexion of the hip during walking)
<i>Negative signs</i>	
Muscle weakness	Muscles have lower strength due to the loss of corticospinal drive
Loss of dexterity	Loss of hand precise movements, such as opposition of the thumb due to a weakness of the intrinsic and extrinsic hand muscles
Fatigability	Greater effort required to perform a movement leading to tiredness

Figure 3 Description des signes positifs et négatifs du syndrome pyramidal. D'après Thibaut et al., 2013 [11]

La spasticité ou hypertonie spastique représente un « désordre moteur caractérisé par une augmentation, dépendante de la vitesse, du réflexe tonique d'étirement associé à des réflexes ostéotendineux augmentés, provenant d'une hyperexcitabilité du réflexe d'étirement et constituant une des composantes du syndrome du motoneurone supérieur » telles que défini par Lance [12].

Cliniquement elle va se traduire par une résistance involontaire à un mouvement imposé qui sera d'autant plus importante que la vitesse du mouvement le sera.

Cependant cette définition semble aujourd'hui incomplète, car bien que la spasticité soit consécutive à une atteinte des circuits réflexes spinaux il existerait plusieurs autres mécanismes et symptômes incriminés dans la spasticité comme, le phénomène de dystonie spastique, les co-contractions, les modifications histologiques des fibres musculaires [13–15].

Plus récemment la spasticité a été définie comme « un désordre du contrôle sensorimoteur, résultant d'une lésion du motoneurone supérieur, se présentant comme une activation involontaire intermittente ou soutenue des muscles » selon le Consensus Européen de 2005 [16].

Cette hyperexcitabilité du réflexe d'étirement résulte de plusieurs mécanismes distincts, mais liés entre eux. D'une part elle est due à un déséquilibre entre les voies excitatrices et les voies inhibitrices par atteinte du contrôle supra-spinal et d'autre part elle est due à une de certains réflexes d'inhibition à l'étage médullaire (inhibition

réciroque, inhibition récurrente, inhibition autogénique) et par modification des propriétés biomécanique des fibres musculaires liées à la paralysie, l'immobilisation en position raccourcie et la dégénérescence fibreuse qui vont entrainer une baisse de la compliance de la fibre à l'étirement [15,17,18].

Son retentissement peut être multiple : douleur, limitation d'amplitude articulaire et donc gêne au positionnement, au soin de nursing, limitation de l'autonomie du patient.

L'évaluation de la spasticité passe par l'utilisation de différentes échelles analytiques afin d'évaluer précisément la spasticité comme la Modified Ashworth Scale (MAS) [19], l'échelle de Tardieu, l'échelle des spasmes de Penn, par un examen des amplitudes articulaires passives (PROM) et actives (AROM), mais aussi des éléments plus globaux et fonctionnels comme la mesure d'indépendance fonctionnelle (MIF) [20,21] ou l'indice de Barthel pour le retentissement fonctionnel global , comme l'échelle visuelle analogique pour la douleur, ou comme le test des 10 mètres pour le retentissement sur la marche. Tout cela dans le but de déterminer si cette spasticité a des conséquences sur les activités de la vie quotidienne du patient.

Il est important de définir à l'issue de l'examen si la spasticité est gênante ou non ? Si oui, en quoi l'est-elle ? Et enfin est-elle diffuse ou focalisée ? [23], en effet, les recommandations de traitement et de prise en charge de la spasticité vont varier d'un patient à l'autre en fonction de l'étendue, de la gêne pour les actes de la vie quotidienne ou pour la réalisation de certaines tâches, des douleurs entraînées par cette spasticité.

V.1.4 Épidémiologie de la spasticité

La spasticité est retrouvée dans différentes maladies touchant la voie pyramidale du système nerveux central (AVC, SEP, paralysie cérébrale, blessé médullaire...). Au regard de la CIF (Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé) la spasticité va être une déficience à l'origine de limitations d'activité et de restrictions de participation ayant des conséquences importantes sur la qualité de vie du patient en impactant la marche, les transferts, l'hygiène, en entrainant des douleurs [24].

Néanmoins la spasticité peut, dans une certaine mesure, être un symptôme utile au patient en suppléant un déficit de force musculaire. Enfin certaines situations cliniques aiguës, que l'on appelle épines irritatives et correspondant à tout état nociceptif, comme la présence d'une escarre, d'une infection urinaire ou encore d'une constipation, vont être à l'origine d'une majoration de la spasticité et il convient de traiter cette épine avant d'entreprendre de traiter la spasticité [25]. C'est pourquoi une évaluation clinique complète et rigoureuse, ainsi que la vérification des traitements déjà pris par le patient, est indispensable avant d'envisager un traitement de la spasticité.

L'AVC est la première cause de handicap acquis en France. Dans l'exemple de la marche, l'un des symptômes les plus fréquents la perturbant est le pied varus équin, qui correspond à une extension de cheville exagérée potentiellement due à une spasticité de certains groupes musculaires, et que l'on retrouve chez 18% des patients à 1 an de l'AVC [26]. De manière plus générale, à 1 an d'un AVC, la spasticité est retrouvée chez 17 à 36% des patients [27–29], chez 84% des patients dans la SEP [30], chez 65% des patients blessés médullaires [31] ou encore 80% chez les patients paralysés cérébraux [32].

V.1.5 Recommandations de prise en charge de la spasticité

V.1.5.1 Arsenal thérapeutique

La prise en charge de la spasticité requiert une approche rééducative multidisciplinaire incluant médecins, kinésithérapeutes, ergothérapeutes, éducateurs d'activité physique adaptée. La rééducation est indispensable dans la prise en charge de la spasticité.

Les objectifs de la rééducation dans la prise en charge de la spasticité sont la récupération de la motricité volontaire et sensitive ainsi qu'un réapprentissage du geste déficient comme un réapprentissage d'un schéma de marche [33]

Elle comprend à la fois des techniques de rééducation comme les étirements musculaires et tendineux, le renforcement musculaire, des thérapies physiques comme la TENS, la cryothérapie [34], des orthèses afin de pallier aux répercussions

fonctionnelles de la spasticité, mais aussi des thérapeutiques médicamenteuses et interventions chirurgicales. Parmi cet arsenal, nous pouvons citer [11,23,35–38] :

Le baclofène, en prise per os, est un agoniste GABAergique (acide γ -aminobutyrique). Il traverse la barrière hémato-encéphalique et se lie aux récepteurs GABA_B de la moelle épinière diminuant ainsi l'activité nerveuse. Il est recommandé en première intention dans la spasticité diffuse [23]. Le baclofène peut aussi être utilisé par voie intrathécale (intra-spinale), donc injecté au plus proche de la moelle épinière, au moyen d'une pompe implantée, ce qui permet de diminuer la concentration systémique et limitant ainsi la survenue d'effet indésirable, car seuls 2 à 3% du baclofène per os passe la barrière hémato-encéphalique.

Le dantrolène, a une action périphérique. Il entraîne une relaxation musculaire qui agit en se liant au récepteur de la ryanodine et en affectant la libération de calcium.

La tizanidine et la clonidine sont des agonistes α_2 adrénergiques centraux, leur action diminue la libération d'acides aminés excitateurs par les interneurons spinaux. La tizanidine n'a plus d'ATU depuis 2021.

Les benzodiazépines (Clonazepam, Diazepam) ont un effet gabaergique en augmentant l'affinité du GABA pour le récepteur GABA_A. Cela conduit à une augmentation de l'inhibition pré-synaptique et donc une relaxation musculaire. Cette thérapeutique est surtout utilisée sur une population pédiatrique et peu chez l'adulte.

La toxine botulinique de type A, injectée en intra-musculaire, est recommandée en première intention dans le traitement de la spasticité focale [23]. Elle inhibe la transmission nerveuse au niveau de la jonction neuro-musculaire.

Le phénol ou l'alcool, injecté en péri nerveux, entraîne une neurolyse chimique. Ils induisent une destruction non sélective des fibres nerveuses pouvant être à l'origine de troubles sensitifs dans le territoire du nerf injecté. C'est pourquoi c'est une technique qui est limitée à une spasticité focale, sur des nerfs moteurs ou à très faible contingent sensitif comme le nerf obturateur pour l'adductum de hanche ou le nerf musculo-cutané pour le flessus de coude [39].

Les techniques chirurgicales comme la radicelotomie (aussi appelé SDR pour rhizotomie dorsale sélective) qui consiste en une section sélective, à leur zone d'entrée

dans la moelle épinière, des fibres nerveuses sensibles impliquées dans le réflexe myotatique [40].

La neurotomie qui consiste en une section partielle d'un nerf périphérique innervant un muscle spastique dans l'intention de sectionner les fibres afférentes impliquées dans le réflexe myotatique. La neurotomie peut être réalisée par exemple au niveau du nerf tibial dans le pied équin spastique [41].

Les interventions chirurgicales orthopédiques, dans un objectif de rétablissement des mobilités articulaires ou de modification de l'équilibre et déséquilibre musculaire : L'allongement tendineux, par exemple du tendon calcanéen, et l'aponévrotomie, section de l'aponévrose d'un muscle pour en allonger sa taille, par exemple des muscles gastrocnémiens, sont des techniques utilisées pour redonner de la mobilité à une articulation [42].

La ténotomie qui consiste en une section des tendons des muscles spastiques responsables de déformations orthopédiques. Elle peut être réalisée en per cutanée, par exemple sur des tendons du muscle fléchisseurs des orteils dans le cadre d'une griffe, ou bien réalisée à ciel ouvert, plus invasive et à risque de complication, sur des tendons moins accessibles comme pour l'ilio-psoas [43].

La transposition tendineuse, qui consiste en une transposition d'un tendon ou d'une partie d'un tendon afin de rétablir un meilleur équilibre musculaire. Par exemple la transposition du muscle tibial postérieur dans le traitement du pied varus [44].

V.1.5.2 Stratégie de prise en charge thérapeutique

Sont résumé ici les grandes lignes de la prise en charge chirurgicale de la spasticité, mais il existe bien d'autres techniques. Parmi tous ces traitements, le praticien va choisir en fonction des caractéristiques de la spasticité ainsi que du caractère réversible ou non du traitement. Ainsi la toxine botulique est un traitement réversible que le praticien va utiliser plutôt dans le cadre de spasticité dite focale, en opposition à la spasticité dite diffuse à un ensemble de groupes musculaires, alors que la pompe à baclofène est un traitement réversible, mais plutôt utilisé dans la spasticité diffuse.

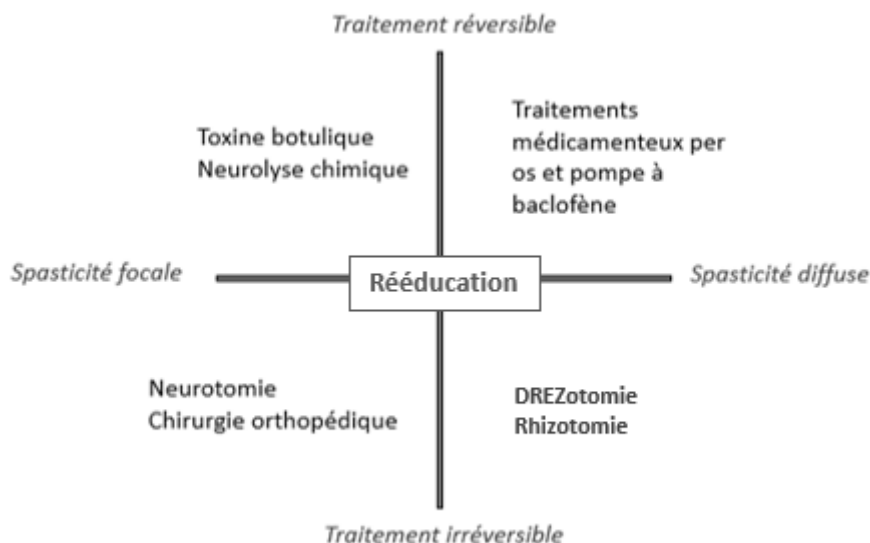


Figure 4 Schématisation des traitements de la spasticité

Tous ces moyens thérapeutiques sont complémentaires. La stratégie globale de prise en charge de la spasticité va finalement consister en l'utilisation des différentes thérapeutiques rééducatives, médicamenteuse et chirurgicales, en fonction des caractéristiques de la spasticité du patient, en fonction de la gêne rapportée par le patient et en fonction des objectifs définies par et avec ce dernier. Dans les cas de spasticité les plus complexes, le praticien va pouvoir s'aider des blocs moteurs périphériques qui consistent en une anesthésie ciblée afin d'obtenir un blocage de la conduction musculo-nerveuse sur un groupe musculaire donné, de manière réversible et provisoire, pour renseigner sur l'impact fonctionnel d'un traitement focal (Toxine botulinique, neurolyse chimique ou chirurgicale) en différenciant une composante d'hypertonie musculaire d'une rétraction, en démasquant une commande motrice des muscles antagoniste pouvant être gênante, en dépistant une trop grande hypotonie musculaire [45].

Des consultations multidisciplinaires sont également mises en place avec la présence des praticiens de différentes spécialités afin de disposer de l'ensemble des moyens thérapeutiques indispensables à la prise en charge la plus adaptée au patient.

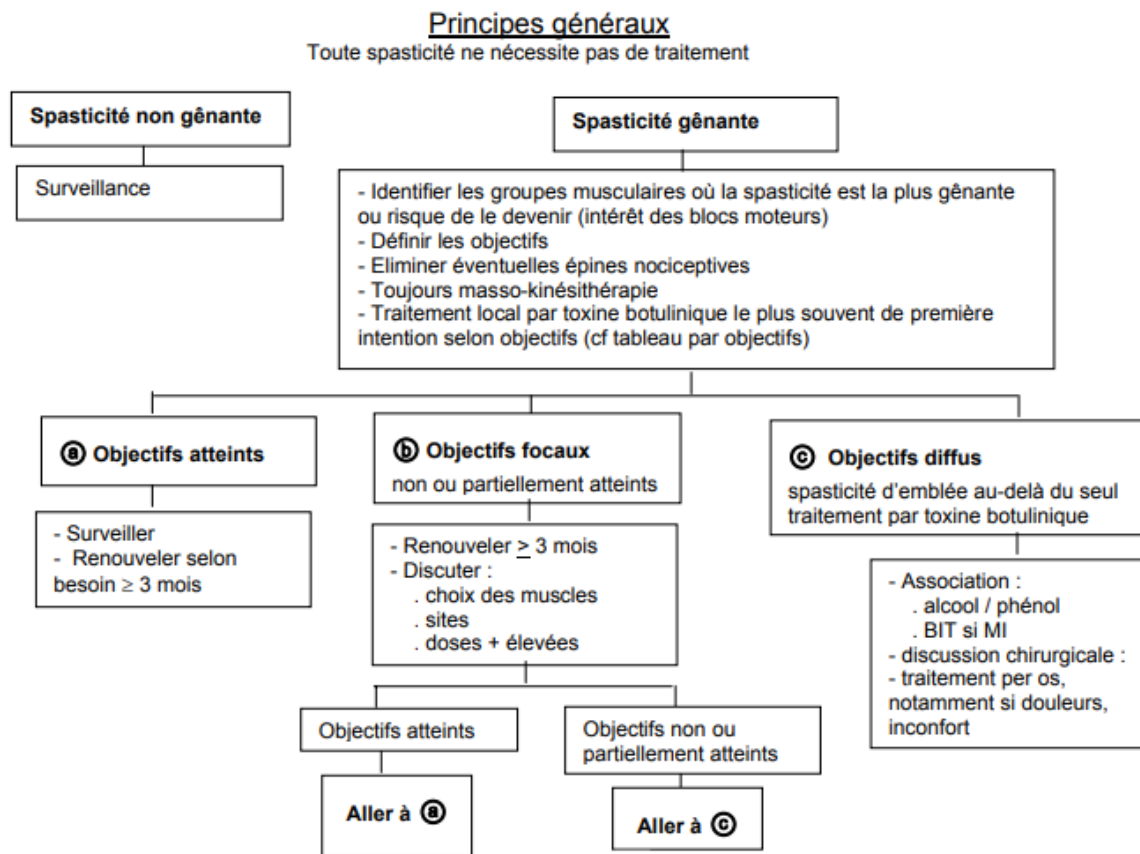


Figure 5 Prise en charge de la spasticité d'un AVC ancien (mois ou année). Tiré de [23]

V.2 Généralités sur la toxine botulique et ses indications

V.2.1 Mécanismes d'actions

Il existe sept sérotypes majeurs de neurotoxines différentes (A, B, C, D, E, F et G), produits par différentes espèces de *Clostridium* dont le principal est *Clostridium botulinum*. Il s'agit de la substance la plus puissante que l'on connaisse à l'heure actuelle et on estime sa dose létale à 1ng/kg pour l'homme [46]. Cette toxine est à l'origine du botulisme. Après ingestion d'un aliment contaminé, on va voir apparaître une fatigue, des vomissements, une diarrhée, des douleurs abdominales. Vont apparaître ensuite une faiblesse motrice, touchant en premier les muscles innervés par les nerfs crâniens puis s'étendant et pouvant aller jusqu'à une paralysie respiratoire [47].

Physiologiquement, l'influx nerveux permettant la contraction musculaire est transmis au muscle par le neurone via la plaque motrice, plus précisément par la fusion, avec la membrane pré-synaptique du neurone, de vésicules remplies d'acétylcholine (permis par le fonctionnement du système protéidique SNARE) libérant ainsi l'acétylcholine dans la fente synaptique. L'acétylcholine va alors se fixer sur des récepteurs membranaires présents sur la surface musculaire (membrane post synaptique) et entraîner la contraction musculaire. La toxine botulique va agir sur différents systèmes protéidiques selon le sérotype mis en jeu. Dans le cas du type A, c'est sur le système protéidique SNARE qu'elle va agir en l'inactivant et ainsi empêcher la fusion des vésicules d'acétylcholine avec la membrane du neurone. L'absence de libération d'acétylcholine dans la fente synaptique lors d'un influx nerveux inhibe donc la contraction musculaire [47–49].

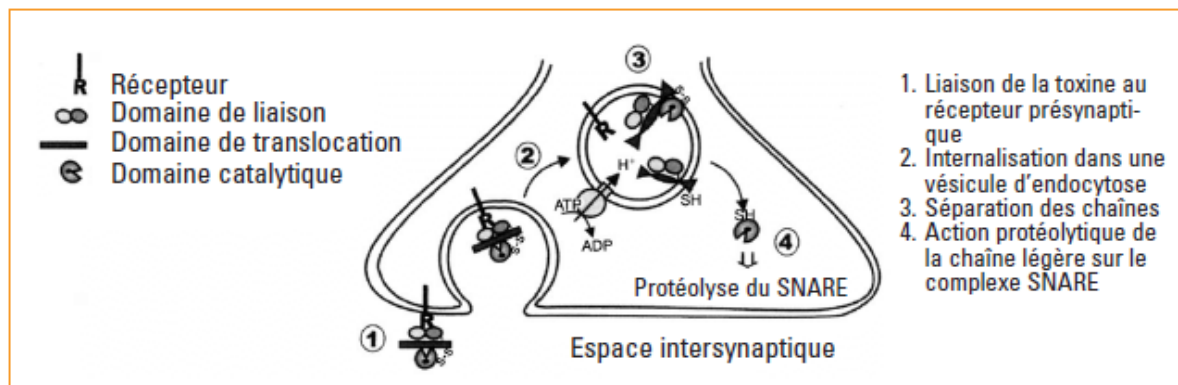


Figure 6 Internalisation de la toxine dans la terminaison nerveuse. Tiré de [47]

Le blocage de la toxine botulique n'est que temporaire, sa durée d'action va varier selon le type de toxine et est principalement liée à sa durée de vie dans la cellule. Elle va poursuivre son action protéolytique au fur et à mesure que les complexes SNARE arrivent dans la terminaison nerveuse contaminée jusqu'à sa dégradation totale par le système ubiquitine-protéasome de la cellule [49]. Parallèlement il se produit un système de remodelage synaptique avec l'apparition de nouveaux bourgeons axonaux au contact de la jonction neuromusculaire à la manière d'une réinnervation après une lésion axonale [50,51].

Les injections de toxines botuliques permettent une diminution de l'hypertonie musculaire gênante et une amélioration des capacités fonctionnelles, une amélioration des douleurs liées à la spasticité, une facilitation des gestes d'hygiène ainsi qu'une

amélioration de la qualité de vie [52]. L'efficacité de ce traitement est temporaire, de 3 à 6 mois. Il est ainsi nécessaire de renouveler régulièrement les injections.

V.2.2 Modalités d'utilisation

C'est en 1980 que la toxine est utilisée pour la première fois sur l'homme, par l'ophtalmologue Alan Scott, pour le traitement du strabisme [53,54].

La réalisation du geste de traitement par la toxine botulique consiste à injecter en intramusculaire (donc au plus près de la plaque motrice) la toxine dans les muscles concernés par la spasticité à l'aide d'un repérage échographique ou par électrostimulation.

Deux types de toxines ont été commercialisés : le type A (Onabotulinum toxine A : BOTOX®, Abotulinum toxine A : DYSPORT®, Incobotulinum toxine A : XEOMIN®) et le type B (NEUROBLOC®). À l'heure actuelle le type A est le seul utilisé, car il s'avère plus efficace et le type B n'est plus commercialisé [55].

L'injection intramusculaire de toxine botulique est associée à un inconfort pour le patient, incluant la douleur et l'anxiété . Plusieurs facteurs influent sur la douleur comme le site d'injection, l'utilisation d'un anesthésique, la méthode de repérage utilisée [57,58]. Quoiqu'il en soit, peu importe le site d'injection ou la méthode de repérage utilisée, il persiste une douleur au moins d'intensité modérée liée à la réalisation du geste [58].

Différentes méthodes médicamenteuses sont utilisées afin de réduire cet inconfort comme l'utilisation de gaz anesthésiant MEOPA ou d'une crème anesthésiques de Lidocaïne (EMLA®) . D'autres méthodes, non médicamenteuses, sont également de plus en plus utilisées comme l'hypnose, la relaxation, le visionnage de films pendant le geste [60]. Cependant le contrôle de la douleur a surtout été étudié chez l'enfant.

V.3 La réalité virtuelle

V.3.1 Généralités

La réalité virtuelle (RV) est un outil informatique qui crée un environnement virtuel, en 3 dimensions, dans lequel le patient va pouvoir vivre une expérience sensorielle

immersive. Généralement par le biais d'un casque, le patient va recevoir des stimulations visuelles et auditives, voire olfactive ou haptique (c'est-à-dire le toucher), et va pouvoir interagir avec l'environnement virtuel en bougeant la tête (par exemple en orientant la tête sur la gauche le monde virtuel va défiler sur la gauche).

Il existe une différence entre la réalité virtuelle et la réalité augmentée qui ajoute des informations visuelles dans le monde réel (par exemple par le biais de lunettes augmentées).

Les utilisations de la réalité virtuelle sont très variées, elle peut être utilisée dans le domaine du jeu vidéo, dans le domaine de la formation, par exemple médicale où un chirurgien s'entraîne à réaliser une opération [61], ainsi que dans le domaine de la médecine par exemple pour la prise en charge de la douleur ou comme outil d'aide à la rééducation [62,63]. Dans le domaine de la rééducation, la réalité virtuelle est en plein essor. Des études tendent à montrer son efficacité comme outil complémentaire dans la rééducation des patients notamment avec une atteinte neurologique [64,65], mais aussi respiratoire ou cardiaque [66,67].

La réalité virtuelle est aussi un outil très utile dans la prise en charge de la douleur qu'elle soit aiguë ou chronique par son environnement immersif.

V.3.2 Utilisation de la réalité virtuelle dans la prise en charge de la douleur

Elle a fait preuve de son efficacité dans la prise en charge de douleur aiguë et notamment dans les douleurs associées aux soins comme les ponctions veineuses [68–70].

La douleur est une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable, liée à une lésion tissulaire réelle ou potentielle ou exprimée selon l'association internationale pour l'étude de la douleur (IASP) [71].

On divise classiquement la douleur en plusieurs mécanismes : la composante sensitive qui représente les différents mécanismes neuro-physiologique de la nociception (détection de la douleur, sa topographie, sa nature...), une composante affective qui correspond à la connotation désagréable de la perception douloureuse,

une composante cognitive qui représente les processus mentaux accompagnant la douleur et lui donnant un sens (mémoire de la douleur, attention, anticipation...) et enfin une composante comportementale qui représente l'ensemble des manifestations verbales et non verbales que l'on observe chez le patient douloureux [72].

Il existe différents nocicepteurs, activés par des stimuli particuliers (pression, étirement, températures...) répartis dans l'ensemble du corps. Ils ont pour rôle de localiser, caractériser et quantifier la douleur. Le stimulus perçu par ces récepteurs est ensuite véhiculé par 2 types de fibres [73]:

- Fibres A δ véhiculent une douleur rapide, localisée et brève
- Fibres C véhiculent une douleur plus diffuse, retardée

Le signal douloureux va ensuite cheminer, via un neurone périphérique, vers la corne postérieure de la moelle épinière, selon une projection métamérique et aux étages sus et sous-jacents (décalage entre localisation douleur et lésion). Un second neurone, médullaire, va prendre le relais et se projeter vers le thalamus et la substance réticulée via le faisceau spino-thalamique (cordon antérolatéral de la moelle avec décussation à chaque étage). Et enfin l'information va se projeter sur différentes zones du cortex afin d'intégrer l'information (par exemple vers le cortex somesthésique pour permettre l'analyse sensori-discriminative, vers le système limbique jouant un rôle dans la mémoire et le comportement vis-à-vis de la douleur...).

Il existe également des systèmes de rétrocontrôle, représentés principalement par la théorie du « gate control », décrit par Melzack et Wall en 1965 [74], expliquant que la transmission du message nociceptif est inhibée par l'activité des afférences primaires non nociceptives homosegmentaires qui ferment « la porte » (les fibres A $\alpha\beta$ du toucher/proprioception vont inhiber les fibres A δ et C, mécanisme utilisé par exemple par la TENS). Ou encore les voies inhibitrices descendantes (contrôle supra spinal) permettant un contrôle via des molécules inhibitrices telles que les endorphines.

Le traitement de la douleur consiste principalement en la prise de médicaments antalgiques qui vont agir à différents niveaux sur la voie de la nociception et de son rétrocontrôle. Ces médicaments, tels que les morphiniques, les anti-inflammatoires non stéroïdiens ou autres, ne sont pas exempts d'effets indésirables.

D'autres méthodes non pharmacologiques peuvent être utilisées : Physiothérapie antalgique, TENS, hypnose, Snoezelen.

La distraction est une méthode antalgique non pharmacologique, elle se base sur le fait que la capacité totale d'attention est limitée, ainsi en portant l'attention du patient sur un sujet, l'attention qu'il portera sur sa douleur sera diminuée [75–77].

L'efficacité de la réalité virtuelle réside dans sa capacité distractive. En immergeant le patient dans un monde virtuel et en le coupant des stimulations visuelles ou auditives du monde réel, le patient porte alors toute son attention sur ce monde virtuel et sa capacité d'attention totale, qui est limitée, n'est que peu, voir pas, orientée sur la douleur. La réalité virtuelle, via un mécanisme de distraction, va donc intervenir sur la composante cognitive et affective de la douleur [78].

Bien que les études sur l'effet de la réalité virtuelle sur le soulagement de la douleur et l'anxiété soient de plus en plus nombreuses, l'effet de la réalité virtuelle sur l'anxiété a été peu étudié [79]. Cependant les effets de la distraction sur l'anxiété semblent bien présents, mais influencés par l'âge du patient, avec une efficacité moindre corrélée à l'augmentation de l'âge [77]. Ceci pourrait être expliqué par l'engagement plus important des enfants les plus jeunes dans des jeux/interactions imaginatives [80].

V.4 Hypothèse formulée

Devant le développement de l'utilisation de la toxine botulinique dans des indications de plus en plus nombreuses et face à la gêne occasionnée par la réalisation de son injection, le développement de nouvelles méthodes afin de soulager cet inconfort, seule ou en association avec des techniques déjà utilisées, nous semble important, non seulement parce qu'elle n'est que peu étudiée chez l'adulte, moins prise en compte par le praticien, mais aussi possiblement à l'origine d'une moins bonne adhésion du patient à réaliser cet acte.

Le but de notre étude est donc d'évaluer l'intérêt de l'utilisation d'un casque de réalité virtuelle lors des séances d'injection de toxine botulinique pour aider à la gestion de l'inconfort lié aux douleurs et à l'anxiété lors de ces injections.

Au vu des études déjà réalisées sur l'utilisation de la réalité virtuelle pour la prise en charge de la douleur aiguë, qu'elle soit procédurale ou non, nous nous attendons à

une amélioration de la douleur ressentie et de l'anxiété avec l'utilisation de la réalité virtuelle.

VI. Méthode

VI.1 Design

Il s'agit d'une étude rétrospective à un bras mené dans le service de médecine physique et de réadaptation du CHU de Poitiers entre février et août 2022. Cette étude et le recueil des données ont été réalisés selon les directives de la Déclaration d'Helsinki et de la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL, MR-004). Toutes les données collectées ont été déclarées à Health Data Hub.

VI.2 Critères d'inclusion et d'exclusion

Pour être inclus, les patients doivent être âgés de 18 ans ou plus, avoir bénéficié d'une injection de toxine botulique dans leur parcours de soins, présenter une hypertonie spastique focale dans au moins 1 muscle des membres supérieurs ou inférieurs justifiant l'utilisation de la toxine botulique, être en mesure de répondre à l'évaluation de l'intensité de la douleur et du niveau d'anxiété.

Toutes les contre-indications à l'injection de toxine botulique (grossesse, allaitement, hypersensibilité à l'une des substances du produit, infection au site d'injection) et tout état pathologique ne permettant pas une utilisation optimale du casque de réalité virtuelle (cécité, troubles majeurs de l'acuité visuelle, surdité) n'ont pas été retenus.

Les patients ne pouvant conserver le casque de réalité virtuelle pendant la procédure (apparition d'effets indésirables, patient souhaitant s'arrêter en cours de procédure) ont été exclus de l'étude.

VI.3 Procédure

Avant la procédure d'injection, le patient a été invité à indiquer le niveau d'intensité de la douleur et d'anxiété correspondant à sa dernière injection, sans RV, sur une échelle de 11 points allant de 0 à 10.



Figure 7 Installation du patient avec le casque de réalité virtuelle

Ensuite, le dispositif de RV (HYPNOVR, <https://hypnovr.io/fr/produits/hypnovr/>) combiné à un casque (TaoTronic, modèle TT-BH085, référence 6972103466158) a été installé sur le patient aussi confortablement que possible (voir figure 7), et un environnement immersif a été généré, montrant un environnement visuel calme (marche sur la plage, plongée parmi des poissons colorés, ou voyage dans l'espace) combiné à une musique relaxante a été diffusé (voir figure 8). Le programme de RV comprenait une phase d'induction de 2 minutes (avant l'injection), 10 à 20 minutes sur le parcours principal de l'environnement généré par la RV (pendant l'injection), associée à une voix calme conseillant exercice de respiration et suggestion hypnotique, puis 2 minutes de phase de sortie. Après la fin de la procédure, le niveau de douleur et d'anxiété de l'injection en cours avec la RV a été rapporté par le patient. Les muscles ciblés pour l'injection, la méthode de localisation des sites d'injection (ultrasons ou électrostimulation), la prise de médicaments analgésiques, l'utilisation d'analgésiques supplémentaires pour l'injection de toxine et la survenue d'événements indésirables ont été recueillis.



Figure 8 Exemple de visuel vu par le patient (issue de <https://hypnovr.io/fr/>)

VI.4 Critère de jugement principal

L'intensité de la douleur a été mesurée à l'aide d'une échelle de notation numérique (EN) allant de 0 (pas de douleur) à 10 (douleur maximale imaginable). Le patient a indiqué la douleur ressentie lors des injections précédentes sans RV avant l'injection et la douleur ressentie lors de la procédure actuelle avec RV.

VI.5 Critères de jugement secondaires

Le niveau d'anxiété, lié à l'injection précédente sans RV et à l'injection actuelle avec RV, a été recueilli à l'aide d'une échelle numérique d'évaluation de l'anxiété allant de 0 (pas d'anxiété) à 10 (anxiété maximale imaginable). En outre, l'amélioration perçue a été déterminée par le patient comme un pourcentage de la valeur ajoutée du RV sur le niveau d'anxiété.

L'amélioration perçue sur la douleur a été déterminée par le patient comme un pourcentage de la valeur ajoutée du RV sur l'intensité de la douleur.

Le niveau de satisfaction a été déterminé à l'aide d'une échelle de 11 points allant de 0 (pas du tout satisfait) à 10 (très satisfait).

VI.6 Analyses statistiques

La population étudiée a été décrite par l'âge, le sexe, la maladie et l'intensité initiale de la douleur. Les variables quantitatives ont été décrites en utilisant soit la moyenne et l'écart-type, soit la médiane et l'intervalle interquartile, en fonction de la normalité

des données. Les variables catégorielles ont été décrites par des nombres et des pourcentages. La normalité a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk.

L'intensité de la douleur (EN) et le niveau d'anxiété pendant la procédure avec et sans RV ont été comparés à l'aide d'un test de Wilcoxon signé (test par paires), car la variable n'était pas normalement distribuée.

La moyenne et l'écart-type de l'amélioration perçue grâce à la RV et de la satisfaction à l'égard de la RV ont également été rapportés.

VII. Résultats

VII.1 Participants

21 patients ont été identifiés au cours de la période d'inclusion de 7 mois. Quatre patients ont été exclus, l'un en raison de l'apparition d'une cybercinétose avec la RV, les trois autres en raison de données partielles. Au total, 17 patients ont été inclus et analysés.

Les caractéristiques des patients sont présentées dans le tableau 1. L'âge moyen des participants était de $49,9 \pm 10,6$ ans, avec 9 femmes (53%). La spasticité était consécutive à un accident vasculaire cérébral pour 9 (52,9%) patients, à une paralysie cérébrale pour 3 (17,6%), à une sclérose en plaques pour 2 (11,8%), à une myélopathie cervico-arthrosique pour 1 (5,9%), à une paraplégie spastique héréditaire pour 1 (5,9%), et à une méningite pour 1 (5,9%). 1 patient a reçu du MEOPA et 1 patient de l'EMLA®. 1 patient était traité par TRAMADOL au long court.

Tableau 1 Caractéristiques des patients

Variables	Moyenne $\pm$ SD / n (%)
Âge (année)	49.9 $\pm$ 10.6
Genre	
Homme	8 (47.1%)
Femme	9 (52.9%)

Étiologie	
AVC	9 (52.9%)
Paralysie cérébrale	3 (17.6%)
SEP	2 (11.8%)
Myélopathie cervico-arthrosique	1 (5.9%)
Paraplégie spastique héréditaire	1 (5.9%)
Méningite	1 (5.9%)
Utilisation d'antalgique	
Non	14 (82,4%)
Oui	3 (17,6%)
Intensité de la douleur avant injection (EN) (0-10) médiane (min-max)	
	0 (0-4)

EN : échelle numérique

5,4 muscles ont été injecté en moyenne. Les différents sites d'injection sont présentés dans le tableau 2 et le tableau 3.

Tableau 2 Injections aux membres supérieurs

	Trapezius	Levator scapulae	Pectoralis major	Pectoralis minor	Teres major	Deltoid	Biceps brachii	Brachialis	Brachioradialis	Triceps brachii	Pronator teres	Flexor carpi ulnaris	Flexor carpi radialis	Flexor digitorum superficialis	Flexor digitorum profundus	Flexor pollicis longus	Flexor pollicis brevis	Adductor pollicis	Abductor digiti minimi of hand	Interossei dorsales
Patient 1																				
Patient 2			1											1	1	1				
Patient 3																				
Patient 4							1	1						1						
Patient 5																				
Patient 6	1	1						1						1	1			1		
Patient 7																				
Patient 8																				
Patient 9			1		1			1						1	1					1
Patient 10							1	1	1								1	1		
Patient 11							1	1												
Patient 12																				
Patient 13												1	1	1	1					
Patient 14								1				1	1						1	
Patient 15								1						1	1					1
Patient 16			1	1		1		1	1			1	1						1	
Patient 17							1	1	1	1	1			1	1	1		1		1
%	1,1 %	1,1 %	3,4 %	1,1 %	1,1 %	1,1 %	4,5 %	10,1 %	3,4 %	1,1 %	1,1 %	3,4 %	3,4 %	7,9 %	6,7 %	2,2 %	1,1 %	3,4 %	2,2 %	3,4 %

Tableau 3 Injections aux membres inférieurs

	Rectus femoris	Adductor longus	Tibialis posterior	Gastrocnemius medial head	Gastrocnemius lateral head	Soleus	Flexor digitorum longus	Flexor hallucis longus
Patient 1	1			1	1	1		
Patient 2				1	1	1		
Patient 3		1						
Patient 4								
Patient 5			1	1	1	1		
Patient 6								
Patient 7				1	1	1		
Patient 8	1		1	1	1	1	1	
Patient 9								
Patient 10								
Patient 11	1		1					
Patient 12		1	1					
Patient 13								
Patient 14				1	1	1		
Patient 15			1	1	1	1		1
Patient 16								
Patient 17								
%	3,4%	2,2%	5,6%	7,9%	7,9%	7,9%	1,1%	1,1%

VII.2 Critères de jugement principal et secondaire

L'intensité de la douleur était significativement plus faible pendant la procédure d'injection avec RV ($2,3 \pm 1,5$) que sans RV ($4,3 \pm 2,7$, $p=0,014$) (tableau 4 et figure 9). Le nombre de patients ayant une baisse de l'intensité de la douleur était de 76%.

Le niveau d'anxiété n'était pas significativement différent entre l'injection avec ($1,3 \pm 2,1$) et sans RV ($2,1 \pm 3,0$, $p=0,054$) (tableau 4 et figure 9). Le nombre de patients ayant une baisse de l'intensité d'anxiété était de 29%.

Les patients ont rapporté une impression subjective moyenne d'amélioration de $39,7 \pm 30,9$ % pour la douleur et de $21,5 \pm 25,0$ % pour l'anxiété pendant la procédure avec RV. La satisfaction globale moyenne des patients était de $7,9 \pm 1,6$ sur 10.

En ce qui concerne les événements indésirables, seul un patient (5,9 %) a présenté une cybercinétose.

Quinze patients (88,2 %) ont accepté de réutiliser la RV pour l'injection ultérieure de toxine botulinique, et tous les patients (100 %) recommanderaient la RV à d'autres patients.

Tableau 4 Comparaison des critères principaux et secondaires

Variables	Sans RV	Avec RV	p-value
Douleur procédurale	4.1 ± 2.7	2.3 ± 1.5	0.014
Anxiété procédurale	2.1 ± 3.0	1.3 ± 2.1	0.054
Pourcentage d'amélioration perçu	-		
Intensité de la douleur		39.7%	±
Intensité de l'anxiété		30.9%	
		21.5%	±
		25.0%	
Satisfaction des patients (0-10)	-	7.9 ± 1.6	
Accord pour réutiliser la RV	-		
Oui		15 (88.2%)	
Non		2 (11.8%)	
Est-ce que les patients recommandent la-			
RV à d'autres patients ?		17 (100%)	
Oui		0 (0%)	
Non			

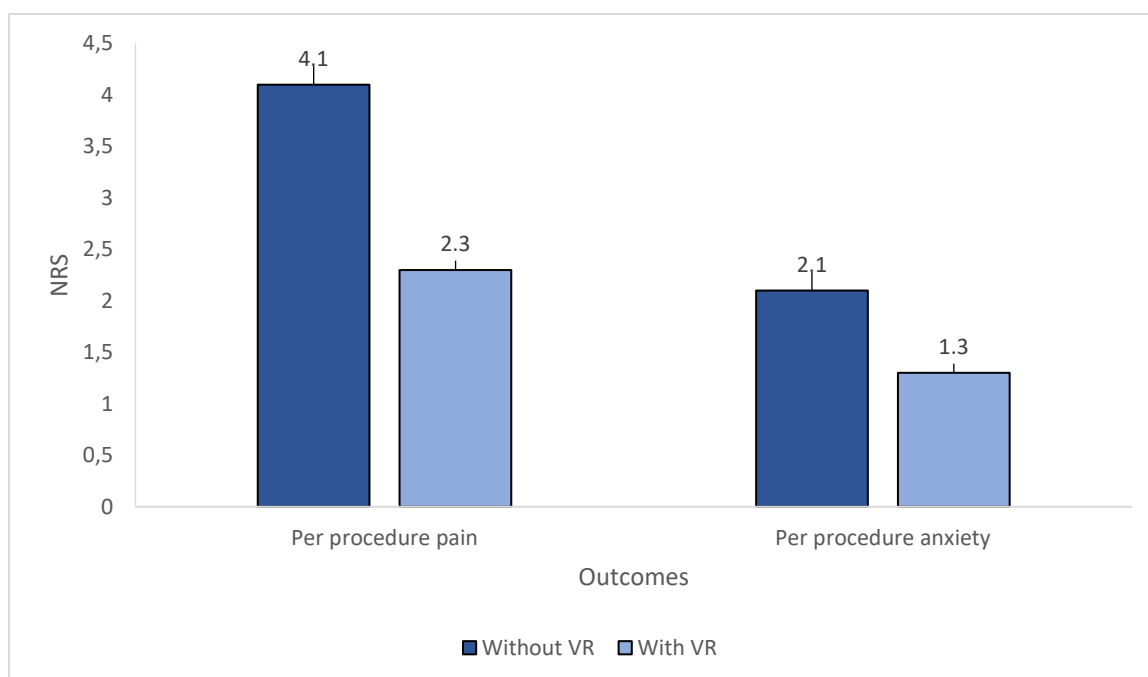


Figure 9 Moyenne de la douleur et de l'anxiété pendant la procédure avec et sans RV

VIII. Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'efficacité de la RV pour réduire la douleur procédurale et l'anxiété pendant l'injection de toxine botulique chez des adultes souffrant de spasticité. Nous avons montré que la RV était capable de réduire de manière significative la douleur procédurale. Les patients étaient très satisfaits de l'utilisation de la RV pendant l'injection et étaient d'accord pour réutiliser le casque de RV, et recommandaient cette utilisation à d'autres patients.

Dans une revue systématique comprenant 18 études, Smith et al. [81] ont rapporté que 12 études démontraient que la RV conduisait à une réduction significative de la douleur dans les procédures douloureuses telles que les brûlures, les plaies, ou les injections. De même, dans une revue systématique avec méta-analyse, Mallari et al [82] ont montré que la RV était capable de réduire la douleur procédurale aiguë chez les adultes. Plus spécifiquement pour la procédure d'injection de toxine botulique, en utilisant le score Face, Legs, Activity, Cry, Consolability (FLACC) pour évaluer la douleur, Chau et al [83] ont rapporté un score médian d'amélioration de 2,5 points chez 14 enfants traités pour spasticité.

Dans notre population adulte, nous avons rapporté un score d'intensité de la douleur de 2,3 avec la RV. Bien que les recherches précédentes ne se soient pas concentrées sur la douleur liée à la procédure d'injection de la toxine botulique chez les adultes, notre étude suggère que le dispositif non invasif de RV peut facilement améliorer la douleur de l'injection, qui se réitère tous les 3 mois, et pourrait en fin de compte améliorer l'adhésion thérapeutique.

Le principe de la RV est de fournir une distraction forte et suffisante pour rediriger l'attention initialement concentrée sur la douleur vers un environnement virtuel calme. Ainsi, la RV peut modifier efficacement la perception sensorielle telle que la douleur en monopolisant une grande quantité de ressources attentionnelles [84]. En mettant en concurrence l'attention entre l'environnement de RV et la douleur, Rutter et al [85] ont rapporté que la RV a conduit à une augmentation durable du seuil de la douleur et de la tolérance à la douleur sur 8 semaines (8 sessions d'essai) chez 28 participants en bonne santé souffrant d'une douleur causée par du froid. Dans la présente étude, la RV a été appliqué avec un dispositif immersif qui permet de fournir un haut degré d'immersion dans un environnement paisible spécifique au cours d'une séance d'injection de toxine botulique [77,86,87]. Bien que la RV soit capable de gérer la douleur chronique [88], l'utilisation de la RV dans l'injection de toxine botulique chez les adultes doit être déterminée. En outre, la combinaison de l'hypnose et de la RV pourrait potentialiser l'effet de la RV pour gérer la douleur procédurale [89–93], et devrait être étudiée à l'avenir.

Bien que la littérature fasse état d'un effet positif de la RV sur l'anxiété [79,94], nos résultats n'ont montré qu'une tendance à la baisse. Tandis que nous n'avons pas observé d'effet fort sur l'anxiété, on peut supposer que le niveau d'anxiété au départ (2,1 points en moyenne) était trop faible pour le réduire de manière significative dans une population qui avait déjà subi plusieurs procédures d'injection de toxine botulique. L'étude d'une population de patients recevant leur toute première injection permettrait probablement de réduire de manière significative l'anxiété liée à la procédure d'injection de toxine botulique dans la population adulte.

Les patients de l'étude actuelle étaient très satisfaits de la RV (7,9 sur 10), et seraient d'accord pour réutiliser le RV pour la prochaine injection (88%) et pour recommander le RV à d'autres patients (100%). Par ailleurs, Smith et al [81] ont mis en évidence des

effets indésirables rares (8-10%) qui concordent avec le seul cas de cybercinétose observé dans notre étude. Les effets secondaires observés pendant la RV sont considérés comme transitoires et réversibles, ce qui fait de la RV une approche sûre pour gérer la douleur procédurale dans la population neurologique. En outre, la RV peut être considérée comme une alternative valable aux thérapies médicales qui n'ont pas nécessité de praticien supplémentaire et de coût supplémentaire par rapport au dispositif de RV lui-même en comparaison avec la gestion pharmacologique. Une étude médico-économique devrait être menée pour valider cette hypothèse.

Cette étude pilote comporte des limites. La conception rétrospective de l'étude menée en routine clinique fournit des données réelles, mais implique un biais potentiel d'évaluation déclarative et n'a pas comparé les résultats avec un groupe contrôle. La valeur ajoutée de la RV dans l'injection de toxine botulique devrait être déterminée à long terme dans le cadre d'un essai contrôlé randomisé.

Notre étude a montré que le RV était utile pour gérer la douleur liée à l'injection de toxine botulique chez les adultes et que les patients étaient très satisfaits du dispositif. En outre, ils ont déclaré accepter de réutiliser le RV pour la prochaine injection et de recommander cette approche à d'autres patients souffrant de spasticité. Le RV devrait être considéré comme une option de traitement alternative à l'approche pharmacologique dans l'injection de toxine botulique et devrait faire l'objet d'un essai prospectif contrôlé et randomisé avec un suivi à long terme et une analyse coût-efficacité.

IX. Conclusion

Notre étude a montré que le RV était utile pour gérer la douleur liée à l'injection de toxine botulique chez les adultes et que les patients étaient très satisfaits du dispositif. En outre, ils ont déclaré accepter de réutiliser le RV pour la prochaine injection et de recommander cette approche à d'autres patients souffrant de spasticité. Le RV devrait être considéré comme une option de traitement alternative à l'approche pharmacologique dans l'injection de toxine botulique et devrait faire l'objet d'un essai prospectif contrôlé et randomisé avec un suivi à long terme et une analyse coût-efficacité.

X. Bibliographie

- [1] Milligan J, Ryan K, Lee J. Démythifier la spasticité en première ligne. *Can Fam Physician Med* 2019;65:e422–8.
- [2] Reflexes in response to stretch (myotatic reflexes). *Proc R Soc Lond Ser B Contain Pap Biol Character* 1924;96:212–42. <https://doi.org/10.1098/rspb.1924.0023>.
- [3] Katz R. Réévaluation des mécanismes physiologiques qui génèrent le réflexe d'étirement : de nouvelles hypothèses sur la physiopathologie de la spasticité. *Ann Réadapt Médecine Phys* 2001;44:268–72. [https://doi.org/10.1016/S0168-6054\(01\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0168-6054(01)00100-3).
- [4] Jiping He. Stretch reflex sensitivity: effects of postural and muscle length changes. *IEEE Trans Rehabil Eng* 1998;6:182–9. <https://doi.org/10.1109/86.681184>.
- [5] Fleuren JF, Nederhand MJ, Hermens HJ. Influence of Posture and Muscle Length on Stretch Reflex Activity in Poststroke Patients With Spasticity. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87:981–8. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.03.018>.
- [6] Académie Nationale de Médecine. Réflexe myotatique n.d.
- [7] Académie Nationale de Médecine. Réflexe ostéo-tendineux n.d.
- [8] Richer J-P. Polycopié de neuroanatomie. 2011th–2012th ed. Laboratoire d'Anatomie de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Poitiers; n.d.
- [9] Kamina P. Anatomie clinique. 2e éd. Paris: Maloine; 2013.
- [10] Guillemin L. Sémiologie médicale. 2e éd. Paris: Médecine sciences publications-[Lavoisier]; 2011.
- [11] Thibaut A, Chatelle C, Ziegler E, Bruno M-A, Laureys S, Gosseries O. Spasticity after stroke: physiology, assessment and treatment. *Brain Inj* 2013;27:1093–105. <https://doi.org/10.3109/02699052.2013.804202>.
- [12] Lance JW. The control of muscle tone, reflexes, and movement: Robert Wartenberg Lecture. *Neurology* 1980;30:1303–1303. <https://doi.org/10.1212/WNL.30.12.1303>.
- [13] Nielsen JB, Crone C, Hultborn H. The spinal pathophysiology of spasticity ? from a basic science point of view. *Acta Physiol* 2007;189:171–80. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2006.01652.x>.
- [14] Dietz V, Berger W. Interlimb coordination of posture in patients with spastic paresis. Impaired function of spinal reflexes. *Brain J Neurol* 1984;107 (Pt 3):965–78. <https://doi.org/10.1093/brain/107.3.965>.
- [15] Marque P, Brassat D. Physiopathologie de la spasticité. *Rev Neurol (Paris)* 2012;168:S36–44. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(12\)70045-0](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(12)70045-0).
- [16] Pandyan AD, Gregoric M, Barnes MP, Wood D, Van Wijck F, Burridge J, et al. Spasticity: clinical perceptions, neurological realities and meaningful measurement. *Disabil Rehabil* 2005;27:2–6. <https://doi.org/10.1080/09638280400014576>.
- [17] Gracies J-M. Pathophysiology of spastic paresis. II: Emergence of muscle overactivity. *Muscle Nerve* 2005;31:552–71. <https://doi.org/10.1002/mus.20285>.
- [18] Gioux M, Petit J. Effects of immobilizing the cat peroneus longus muscle on the activity of its own spindles. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 1993;75:2629–35. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.6.2629>.
- [19] Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther* 1987;67:206–7. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.2.206>.
- [20] Minaire P. La Mesure d'Indépendance Fonctionnelle (MIF) : historique, présentation, perspectives. *J Readap Med* 1991;11:168–74.
- [21] Sengler J, Hartmann E, Buisson P, Pierrejean C, Bourderont D. La mesure d'indépendance fonctionnelle (MIF) a-t-elle une valeur prédictive dans les accidents vasculaires cérébraux? *Ann Réadapt Médecine Phys* 1996;39:553–9. [https://doi.org/10.1016/S0168-6054\(97\)84239-0](https://doi.org/10.1016/S0168-6054(97)84239-0).
- [22] Brashear A, Zafonte R, Corcoran M, Galvez-Jimenez N, Gracies J-M, Gordon MF, et al. Inter- and intrarater reliability of the Ashworth Scale and the Disability Assessment Scale in patients with upper-limb poststroke spasticity. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:1349–54. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.35474>.

- [23] Afssaps. Recommandations de bonne pratique : Traitements médicamenteux de la spasticité. 2009.
- [24] Welmer A-K, von Arbin M, Widén Holmqvist L, Sommerfeld DK. Spasticity and Its Association with Functioning and Health-Related Quality of Life 18 Months after Stroke. *Cerebrovasc Dis* 2006;21:247–53. <https://doi.org/10.1159/000091222>.
- [25] Ben Smaïl D, Kiefer C, Bussel B. [Clinical evaluation of spasticity]. *Neurochirurgie* 2003;49:190–8.
- [26] Verdié C, Daviet JC, Borie MJ, Popielarz S, Munoz M, Salle JY, et al. Épidémiologie des pieds varus et/ou équin un an après un premier accident vasculaire cérébral hémisphérique : à propos d'une cohorte de 86 patients. *Ann Réadapt Médecine Phys* 2004;47:81–6. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2003.10.005>.
- [27] Leathley MJ, Gregson JM, Moore AP, Smith TL, Sharma AK, Watkins CL. Predicting spasticity after stroke in those surviving to 12 months. *Clin Rehabil* 2004;18:438–43. <https://doi.org/10.1191/0269215504cr727oa>.
- [28] Watkins CL, Leathley MJ, Gregson JM, Moore AP, Smith TL, Sharma AK. Prevalence of spasticity post stroke. *Clin Rehabil* 2002;16:515–22. <https://doi.org/10.1191/0269215502cr512oa>.
- [29] Lundström E, Smits A, Terént A, Borg J. Risk factors for stroke-related pain 1 year after first-ever stroke. *Eur J Neurol* 2009;16:188–93. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2008.02378.x>.
- [30] Rizzo MA, Hadjimichael OC, Preiningerova J, Vollmer TL. Prevalence and treatment of spasticity reported by multiple sclerosis patients. *Mult Scler Houndmills Basingstoke Engl* 2004;10:589–95. <https://doi.org/10.1191/1352458504ms1085oa>.
- [31] Sköld C, Levi R, Seiger A. Spasticity after traumatic spinal cord injury: nature, severity, and location. *Arch Phys Med Rehabil* 1999;80:1548–57. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(99\)90329-5](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(99)90329-5).
- [32] Vitrikas K, Dalton H, Breish D. Cerebral Palsy: An Overview. *Am Fam Physician* 2020;101:213–20.
- [33] Albert T, Yelnik A. Techniques utilisées en rééducation pour le traitement de la spasticité. *Neurochirurgie* 2003;49:239–46.
- [34] Mahmood A, Veluswamy SK, Hombali A, Mullick A, N M, Solomon JM. Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on Spasticity in Adults With Stroke: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2019;100:751–68. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.10.016>.
- [35] Chang E, Ghosh N, Yanni D, Lee S, Alexandru D, Mozaffar T. A Review of Spasticity Treatments: Pharmacological and Interventional Approaches. *Crit Rev Phys Rehabil Med* 2013;25:11–22. <https://doi.org/10.1615/CritRevPhysRehabilMed.2013007945>.
- [36] Etoom M, Khraiweh Y, Lena F, Hawamdeh M, Hawamdeh Z, Centonze D, et al. Effectiveness of Physiotherapy Interventions on Spasticity in People With Multiple Sclerosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am J Phys Med Rehabil* 2018;97:793–807. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000970>.
- [37] Thibaut A, Wannez S, Deltombe T, Martens G, Laureys S, Chatelle C. Physical therapy in patients with disorders of consciousness: Impact on spasticity and muscle contracture. *NeuroRehabilitation* 2018;42:199–205. <https://doi.org/10.3233/NRE-172229>.
- [38] Yelnik AP, Simon O, Bensmail D, Chaleat-Valayer E, Decq P, Dehail P, et al. Drug treatments for spasticity. *Ann Phys Rehabil Med* 2009;52:746–56. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2009.09.005>.
- [39] Karri J, Zhang B, Li S. Phenol Neurolysis for Management of Focal Spasticity in the Distal Upper Extremity. *PM R* 2020;12:246–50. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12217>.
- [40] MAILHAN L, GENET F, LAUTRIDOU C, DENORMANDIE P, BENSMAIL D. TRAITEMENTS MÉDICAMENTEUX ET CHIRURGICAUX DE LA SPASTICITÉ. *SPASTICITE REEDUCATION Hist Un Symptome 1ère Partie* 2010;Kinésithérapie scientifique:21–5.
- [41] Decq P. [Peripheral neurotomies for the treatment of focal spasticity of the limbs]. *Neurochirurgie* 2003;49:293–305.

- [42] Rutz E, Baker R, Tirosh O, Romkes J, Haase C, Brunner R. Tibialis anterior tendon shortening in combination with Achilles tendon lengthening in spastic equinus in cerebral palsy. *Gait Posture* 2011;33:152–7. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.11.002>.
- [43] Angioni F, Salga M, Denormandie P, Genêt F, Haigh O, David R, et al. Microinvasive percutaneous needle tenotomy, An alternative to open surgery to treat neurological foot deformities. *Ann Phys Rehabil Med* 2023;66:101690. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2022.101690>.
- [44] Johnson WL, Lester EL. Transposition of the posterior tibial tendon. *Clin Orthop* 1989;223–7.
- [45] SOFMER, SFAR. Recommandations pour la pratique des blocs moteurs périphériques en Médecine Physique et de Réadaptation (MPR) 2018.
- [46] Johnson EA. Clostridial toxins as therapeutic agents: benefits of nature's most toxic proteins. *Annu Rev Microbiol* 1999;53:551–75. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.53.1.551>.
- [47] Tschanz C. *Revue Médicale Suisse : Toxine botulique : une révolution thérapeutique*. *Rev Médicale Suisse* 2003;61:854–8.
- [48] Simon O, Yelnik AP. Managing spasticity with drugs. *Eur J Phys Rehabil Med* 2010;46:401–10.
- [49] Poulain B, Popoff MR. Neurotoxine botulique : mécanismes moléculaires et cellulaires de son action sur le système nerveux. *Bull Académie Natl Médecine* 2020;204:369–78. <https://doi.org/10.1016/j.banm.2020.01.022>.
- [50] Bandyopadhyay S, Clark AW, DasGupta BR, Sathyamoorthy V. Role of the heavy and light chains of botulinum neurotoxin in neuromuscular paralysis. *J Biol Chem* 1987;262:2660–3.
- [51] Lagueny A, Burbaud P. Mécanisme d'action, indication et résultats des traitements par la toxine botulinique. *Neurophysiol Clin Neurophysiol* 1996;26:216–26. [https://doi.org/10.1016/S0987-7053\(96\)85003-9](https://doi.org/10.1016/S0987-7053(96)85003-9).
- [52] Cameron MH, Bethoux F, Davis N, Frederick M. Botulinum Toxin for Symptomatic Therapy in Multiple Sclerosis. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2014;14:463. <https://doi.org/10.1007/s11910-014-0463-7>.
- [53] Scott AB. Botulinum toxin injection of eye muscles to correct strabismus. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1981;79:734–70.
- [54] Simpson L. The life history of a botulinum toxin molecule. *Toxicon Off J Int Soc Toxinology* 2013;68:40–59. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2013.02.014>.
- [55] Sloop RR, Cole BA, Escutin RO. Human response to botulinum toxin injection: type B compared with type A. *Neurology* 1997;49:189–94. <https://doi.org/10.1212/wnl.49.1.189>.
- [56] Chaléat-Valayer E, Parratte B, Colin C, Denis A, Oudin S, Bérard C, et al. A French observational study of botulinum toxin use in the management of children with cerebral palsy: BOTULOSCOPE. *Eur J Paediatr Neurol EJPJ Off J Eur Paediatr Neurol Soc* 2011;15:439–48. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2010.04.006>.
- [57] Fisher MT, Zigler CK, Houtrow AJ. Factors affecting procedural pain in children during and immediately after intramuscular botulinum toxin injections for spasticity. *J Pediatr Rehabil Med* 2018;11:193–7. <https://doi.org/10.3233/PRM-170516>.
- [58] Bayon-Mottu M, Gambart G, Deries X, Tessiot C, Richard I, Dinomais M. Pain during injections of botulinum toxin in children: Influence of the localization technique. *Ann Phys Rehabil Med* 2014;57:578–86. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2014.09.010>.
- [59] Nugud A, Alhoot S, Agabna M, Babiker MOE, El Bashir H. Analgesia and sedation modalities used with botulinum toxin injections in children with cerebral palsy: a literature review. *Sudan J Paediatr* 2021;21:6–12. <https://doi.org/10.24911/SJP.106-1604549033>.
- [60] Burlot S, Casalonga B, Metivier C, Bioy A, Lejeune D, Lesage P, et al. Interests of medical hypnosis during toxin botulinic injections: Preliminary study. *Ann Phys Rehabil Med* 2014;57:e45–6. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2014.03.163>.
- [61] Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg* 2002;236:458–63; discussion 463–464. <https://doi.org/10.1097/00000658-200210000-00008>.

- [62] Pallavicini F, Pepe A, Clerici M, Mantovani F. Virtual Reality Applications in Medicine During the COVID-19 Pandemic: Systematic Review. *JMIR Serious Games* 2022;10:e35000. <https://doi.org/10.2196/35000>.
- [63] Li L, Yu F, Shi D, Shi J, Tian Z, Yang J, et al. Application of virtual reality technology in clinical medicine. *Am J Transl Res* 2017;9:3867–80.
- [64] Chen J, Or CK, Chen T. Effectiveness of Using Virtual Reality-Supported Exercise Therapy for Upper Extremity Motor Rehabilitation in Patients With Stroke: Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *J Med Internet Res* 2022;24:e24111. <https://doi.org/10.2196/24111>.
- [65] Choi JY, Yi S-H, Ao L, Tang X, Xu X, Shim D, et al. Virtual reality rehabilitation in children with brain injury: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol* 2021;63:480–7. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14762>.
- [66] Chen Y, Cao L, Xu Y, Zhu M, Guan B, Ming W-K. Effectiveness of virtual reality in cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Nurs Stud* 2022;133:104323. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2022.104323>.
- [67] Rutkowski S, Rutkowska A, Kiper P, Jastrzebski D, Racheński H, Turolla A, et al. Virtual Reality Rehabilitation in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Randomized Controlled Trial. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2020;15:117–24. <https://doi.org/10.2147/COPD.S223592>.
- [68] Gold JI, Mahrer NE. Is Virtual Reality Ready for Prime Time in the Medical Space? A Randomized Control Trial of Pediatric Virtual Reality for Acute Procedural Pain Management. *J Pediatr Psychol* 2018;43:266–75. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsx129>.
- [69] Arane K, Behboudi A, Goldman RD. Virtual reality for pain and anxiety management in children. *Can Fam Physician Med Fam Can* 2017;63:932–4.
- [70] Chad R, Emaan S, Jillian O. Effect of virtual reality headset for pediatric fear and pain distraction during immunization. *Pain Manag* 2018;8:175–9. <https://doi.org/10.2217/pmt-2017-0040>.
- [71] Raja SN, Carr DB, Cohen M, Finnerup NB, Flor H, Gibson S, et al. The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. *Pain* 2020;161:1976–82. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001939>.
- [72] Casey K. Sensory, Motivational, and Central Control Determinants of Pain, 1968, p. 423–39.
- [73] Gold JI, Belmont KA, Thomas DA. The neurobiology of virtual reality pain attenuation. *Cyberpsychology Behav Impact Internet Multimed Virtual Real Behav Soc* 2007;10:536–44. <https://doi.org/10.1089/cpb.2007.9993>.
- [74] Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. *Science* 1965;150:971–9. <https://doi.org/10.1126/science.150.3699.971>.
- [75] Chambers CT, Taddio A, Uman LS, McMurtry CM, HELPinKIDS Team. Psychological interventions for reducing pain and distress during routine childhood immunizations: a systematic review. *Clin Ther* 2009;31 Suppl 2:S77–103. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2009.07.023>.
- [76] Birnie KA, Noel M, Chambers CT, Uman LS, Parker JA. Psychological interventions for needle-related procedural pain and distress in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev* 2018;10:CD005179. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005179.pub4>.
- [77] Koller D, Goldman RD. Distraction techniques for children undergoing procedures: a critical review of pediatric research. *J Pediatr Nurs* 2012;27:652–81. <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2011.08.001>.
- [78] Hoffman HG, Chambers GT, Meyer WJ, Arceneaux LL, Russell WJ, Seibel EJ, et al. Virtual reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedures. *Ann Behav Med Publ Soc Behav Med* 2011;41:183–91. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>.
- [79] Eijlers R, Utens EMWJ, Staals LM, de Nijs PFA, Berghmans JM, Wijnen RMH, et al. Systematic Review and Meta-analysis of Virtual Reality in Pediatrics: Effects on Pain and Anxiety. *Anesth Analg* 2019;129:1344–53. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004165>.
- [80] Lillard AS. Pretend play skills and the child's theory of mind. *Child Dev* 1993;64:348–71.

- [81] Smith V, Warty RR, Sursas JA, Payne O, Nair A, Krishnan S, et al. The Effectiveness of Virtual Reality in Managing Acute Pain and Anxiety for Medical Inpatients: Systematic Review. *J Med Internet Res* 2020;22:e17980. <https://doi.org/10.2196/17980>.
- [82] Mallari B, Spaeth EK, Goh H, Boyd BS. Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis. *J Pain Res* 2019;Volume 12:2053–85. <https://doi.org/10.2147/JPR.S200498>.
- [83] Chau B, Chi B, Wilson T. Decreasing pediatric pain and agitation during botulinum toxin injections for spasticity with virtual reality: Lessons learned from clinical use. *J Pediatr Rehabil Med* 2018;11:199–204. <https://doi.org/10.3233/PRM-180534>.
- [84] Wismeijer AAJ, Vingerhoets AJJM. The use of virtual reality and audiovisual eyeglass systems as adjunct analgesic techniques: a review of the literature. *Ann Behav Med Publ Soc Behav Med* 2005;30:268–78. https://doi.org/10.1207/s15324796abm3003_11.
- [85] Rutter CE, Dahlquist LM, Weiss KE. Sustained efficacy of virtual reality distraction. *J Pain* 2009;10:391–7. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2008.09.016>.
- [86] Birnie KA, Noel M, Parker JA, Chambers CT, Uman LS, Kisely SR, et al. Systematic review and meta-analysis of distraction and hypnosis for needle-related pain and distress in children and adolescents. *J Pediatr Psychol* 2014;39:783–808. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsu029>.
- [87] Ventura S, Brivio E, Riva G, Baños RM. Immersive Versus Non-immersive Experience: Exploring the Feasibility of Memory Assessment Through 360° Technology. *Front Psychol* 2019;10:2509. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02509>.
- [88] Goudman L, Jansen J, Billot M, Vets N, De Smedt A, Roulaud M, et al. Virtual Reality Applications in Chronic Pain Management: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Serious Games* 2022;10:e34402. <https://doi.org/10.2196/34402>.
- [89] Patterson DR, Hoffman HG, Chambers G, Bennetts D, Hunner HH, Wiechman SA, et al. Hypnotic Enhancement of Virtual Reality Distraction Analgesia during Thermal Pain: A Randomized Trial. *Int J Clin Exp Hypn* 2021;69:225–45. <https://doi.org/10.1080/00207144.2021.1882259>.
- [90] Rousseaux F, Bicego A, Ledoux D, Massion P, Nyssen A-S, Faymonville M-E, et al. Hypnosis Associated with 3D Immersive Virtual Reality Technology in the Management of Pain: A Review of the Literature. *J Pain Res* 2020;13:1129–38. <https://doi.org/10.2147/JPR.S231737>.
- [91] Rousseaux F, Dardenne N, Massion PB, Ledoux D, Bicego A, Donneau A-F, et al. Virtual reality and hypnosis for anxiety and pain management in intensive care units: A prospective randomised trial among cardiac surgery patients. *Eur J Anaesthesiol* 2022;39:58–66. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001633>.
- [92] Rousseaux F, Panda R, Toussaint C, Bicego A, Niimi M, Faymonville M-E, et al. Virtual reality hypnosis in the management of pain: Self-reported and neurophysiological measures in healthy subjects. *Eur J Pain Lond Engl* 2023;27:148–62. <https://doi.org/10.1002/ejp.2045>.
- [93] Langlois P, Perrochon A, David R, Rainville P, Wood C, Vanhaudenhuyse A, et al. Hypnosis to manage musculoskeletal and neuropathic chronic pain: A systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 2022;135:104591. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104591>.
- [94] Bani Mohammad E, Ahmad M. Virtual reality as a distraction technique for pain and anxiety among patients with breast cancer: A randomized control trial. *Palliat Support Care* 2019;17:29–34. <https://doi.org/10.1017/S1478951518000639>.

XI. Annexes

Annexe 1 Échelles pour l'évaluation de la spasticité

Échelle d'Ashworth modifiée (MAS : Modified Ashworth Scale)

MAS (Sur 4)	MAS (Sur 5)	Descriptif du niveau
0	0	Pas d'hypertonie
1	1	Légère hypertonie avec stretch reflex ou minime résistance en fin de course
1+	2	Hypertonie avec stretch reflex et résistance au cours de la première moitié de la course musculaire autorisée
2	3	Augmentation importante du tonus musculaire durant toute la course musculaire, mais le segment de membre
3	4	Augmentation considérable du tonus musculaire. Le mouvement passif est difficile
4	5	Hypertonie majeure. Mouvement passif impossible

Échelle de spasme de Penn

Niveau	Descriptif
0	Absence de spasme
1	Absence de spasme spontané; présence de spasmes induits par stimulation sensorielle ou mobilisation passive
2	Spasmes spontanés occasionnels
3	Nombre de spasmes spontanés compris entre 1 et 10 par heure
4	Plus de 10 spasmes spontanés par heure

Échelle de Tardieu

Elle prend en compte les trois facteurs qui caractérisent la spasticité.

Angle en fonction de la vitesse de l'étirement passif (trois vitesses sont différenciées) :	Degré
Av1 : angle à V1, vitesse lente qui permet d'apprécier à la mobilisation passive la réponse tonique à l'étirement Vitesse inférieure à celle imposée par la pesanteur	
Av2 : angle à V2, vitesse moyenne qui correspond à l'action de la pesanteur sur le segment Vitesse égale à celle de la pesanteur	
Av3 : angle à V3, vitesse rapide qui permet d'apprécier les réactions phasiques à l'étirement Vitesse supérieure à celle de la pesanteur	
L'angle d'apparition du réflexe myotatique qui est d'autant plus petit que la vitesse est plus rapide et la spasticité plus importante	Degré
Noter l'angle articulaire d'apparition du réflexe (Av1 – Av3)	
L'intensité de la réponse qui est cotée de 0 à 4 :	Niveau
Muscle sain, pas de signe d'hypertonie Pas de réflexe d'étirement	0
Réaction myotatique visible ou palpable qui n'entrave pas la mobilisation passive Contractions musculaires visibles ou palpables	1
Arrêt un court instant (1 à 3 secondes) de la mobilisation passive par la réaction myotatique Contraction avec ressaut	2
Présence de secousses cloniques ou d'un arrêt plus long de la mobilisation (de l'ordre de 10 secondes) Trépidations épuisables ou hypertonie marquée permettant une mobilisation aisée	3
Spasticité invincible qui ne cède pas à l'étirement. La différenciation avec une rétraction ne peut être réalisée qu'à la suite d'examen plus approfondi (contrôle sous sommeil ou anesthésie générale) Trépidations inépuisables ou hypertonie considérable avec mobilisation difficile	4

Mesure de l'indépendance fonctionnelle (MIF)

Indépendance

7 : indépendance complète (appropriée aux circonstances et sans danger)

6 : indépendance modifiée (appareil, adaptation)

Dépendance modifiée

5 : surveillance

4 : aide minimale (autonomie = 75 % +)

3 : aide moyenne (autonomie = 50 % +)

Dépendance complète

2 : aide maximale (autonomie = 25 % +)

1 : aide totale (autonomie = 0 % +)

	Entrée	Séjour	Sortie	Débit
Soins personnels				
A. Alimentation	☐	☐	☐	☐
B. Soins de l'apparence	☐	☐	☐	☐
C. Toilettage	☐	☐	☐	☐
D. Habillage - partie supérieure	☐	☐	☐	☐
E. Habillage - partie inférieure	☐	☐	☐	☐
F. Utilisation des toilettes	☐	☐	☐	☐
G. Veste	☐	☐	☐	☐
H. Incontinence	☐	☐	☐	☐
Mobilité, transferts				
I. Lit, chaise, fauteuil roulant	☐	☐	☐	☐
J. WC	☐	☐	☐	☐
K. Baignoire, douche	☐	☐	☐	☐
Locomotion				
L. Marche*	M ☐	M ☐	M ☐	M ☐
Fauteuil roulant*	F ☐	F ☐	F ☐	F ☐
M. Escaliers				
Communication				
N. Compréhension**	A ☐	A ☐	A ☐	A ☐
V ☐	V ☐	V ☐	V ☐	V ☐
O. Expression***	V ☐	V ☐	V ☐	V ☐
N ☐	N ☐	N ☐	N ☐	N ☐
Conscience du monde extérieur				
P. Interactions sociales	☐	☐	☐	☐
Q. Résolution des problèmes	☐	☐	☐	☐
R. Mémoire	☐	☐	☐	☐
Total	☐	☐	☐	☐

Annexe 2 Article à paraître dans Medicina

Virtual Reality for decreasing procedural pain during botulinum toxin injection related to spasticity treatment in adults: a pilot study.

Romain David ^{1,2,*†}, Alexis Dumas ^{2†}, Etienne Ojardias ³, Solène Duval ², Valentine Gilquin ², Laura Mainini ², Rémi Cabirol ², Emmanuel Amauger ², Anne Jossart ², Amine Ounajim ¹, Anaick

Perrochon ⁴, Carlos Luque-Moreno ⁵, Maarten Moens ^{6,7,8}, Lisa Goudman^{6,7,9}, Philippe Rigoard ^{1,10,11} and Maxime Billot ¹

¹PRISMATICS Lab (Predictive Research in Spine/Neuromodulation Management and Thoracic Innovation/Cardiac Surgery), Poitiers University Hospital, 86000 Poitiers, France.

²Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Poitiers University Hospital, University of Poitiers, 86000 Poitiers, France.

³Physical Medicine and Rehabilitation Department, University Hospital of Saint-Etienne, 42270 Saint-Etienne, France.

⁴Laboratoire HAVAE, EA6310, Université de Limoges, Limoges, France.

⁵Departamento de Fisioterapia, Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología, Universidad de Sevilla, 41009, Sevilla, Spain.

⁶Department of Neurosurgery, Universitair Ziekenhuis Brussel, Laarbeeklaan 101, 1090 Brussels, Belgium.

⁷STIMULUS Consortium (Research and Teaching Neuromodulation uz Brussel), Vrije Universiteit Brussel, Laarbeeklaan 103, 1090 Brussels, Belgium.

⁸Department of Radiology, Universitair Ziekenhuis Brussel, Laarbeeklaan 101, 1090 Brussels, Belgium.

⁹Research Foundation – Flanders (FWO), 1090 Brussels, Belgium.

¹⁰Department of Neuro-spine surgery & Neuromodulation, Poitiers University Hospital, 86000 Poitiers, France.

¹¹Prime Institute UPR 3346, CNRS, ISAE-ENSMA, University of Poitiers, 86000 Poitiers, France.

* Correspondence: Romain David, romain.david@chu-poitiers.fr

† Authors contributed equally to this work.

Abstract: *Background and Objectives:* Botulinum toxin injections are commonly used for the treatment of spasticity. However, injection procedures are associated with pain and procedural anxiety. While pharmacological approach is commonly used, innovative technology might be considered as a potential non-pharmacological alternative. Given this context, virtual reality (VR) has shown effectiveness in the management of procedural pain in other context than spasticity. Our retrospective pilot study aimed to assess the potential added value of virtual reality in the management of pain and anxiety during intramuscular injections of botulinum toxin. *Materials and Methods:* Twenty-one adult patients receiving botulinum toxin injections were included. A numerical rating scale was used to assess pain and anxiety scale during the injection procedure. The patient reported the pain experienced during previous injections without VR before injection and pain experienced in the current procedure with VR after the end of the procedure. Level of satisfaction of VR experience and if they agreed to reuse VR for the subsequent toxin botulinum injection, and if they would recommend VR to other patients was assessed. *Results:* The use of virtual reality showed a decrease of 1.8 points pain related procedure compared to without VR. No significant improvement in the level of anxiety was reported. Patients were very satisfied by their VR experience (7.9 out of 10), and would agree to reuse VR in their next injection procedure (88%) and to recommend the use of VR in other patients (100%). *Conclusion:* VR was useful for managing pain related to botulinum toxin injection in adults, with high level of satisfaction reported by the patient. VR should be considered as a valuable alternative to pharmacological approach to manage procedural pain during Botulinum toxin injection in adults.

Keywords: neurological disease, non-pharmacological approach, virtual environment, innovative technology, pain, anxiety.

1. Introduction

Neurological impairments such as stroke, multiple sclerosis, or cerebral palsy, represent a major public health issue worldwide (WHO report 2007). Motor impairments associated with these pathologies, and more specifically spasticity is related to loss of mobility and social participation [1]. Spasticity is defined as a motor disorder characterized by a velocity dependent increase in the tonic stretch reflexes (muscle tone) with exaggerated tendon jerks, resulting from hyperexcitability of the stretch reflexes as one component of the upper motor neuron (UMN) syndrome (Lance, 1980). Intramuscular botulinum toxin injection is a first-line treatment guidelines for the management of spasticity in adult patients [2]. Toxin injections allow reduction in disturbing muscle hypertonia, and consequently improve functional capacities, relief pain related to spasticity, help to enhance hygiene gesture capabilities, and in fine,

improve quality of life [2,3]. While the literature provides strong evidence of clinical benefits of botulinum toxin, the injection procedure is associated with procedural pain and anxiety [4].

Several factors influence procedural pain, such as the injection site, the use of an anesthetic or not [5], and the method of injection site location (ultrasound or electrostimulation) [6,7]. Whatever the procedures, pain were still reported by the patients [6], where repetitions of injection exacerbate pain symptoms [8]. Ultimately, pain could lead to stop injection process representing loss of chance for the patient [9]. Given this context, pain should be managed for improving treatment adherence and optimizing the therapy.

In first intention, pharmacological approach, such as using local anesthetic cream of Lidocaine/Prilocaine (EMLA®) or systemics therapeutics like MEOPA and midazolam, showed clinical efficacy to relief pain and discomfort during toxin botulinum injection [2,9–13]. However, these drugs are associated with adverse effect including sleepiness, nausea and dizziness [12,14]. As non-pharmacological alternative, development of innovative technology such as Virtual Reality (VR) has been recently introduced in different department to manage pain [15–17]. VR is defined by a computerized system that creates a virtual environment where the person live an immersive sensory experience with an enriched environment with augmented multiple sensory feedbacks (auditory, visual, tactile VR enriched environment) [18]. VR has the advantage of being easy to use, quick to set up, accessible with a very short training, not requiring any supplementary staff and having few non-serious undesirable effects (0 to 8% of nausea and dizziness)[19]. Immersive environment is reinforced by combining audio guidance in addition to appeasing visual scene displayed. VR has proven its effectiveness for managing procedural pain, particularly pain associated with care such as venipuncture [19,20]. In a retrospective chart review, Chau et al. [21] showed the feasibility of using VR specifically during botulinum toxin injections in 14 pediatric patients, and reported benefits for managing discomfort [21]. However, the effect and feasibility of VR during intramuscular injection of botulinum toxin in adult presenting spasticity must be determined.

The main objective of our study was to assess VR efficacy for managing procedural pain during intramuscular injections of botulinum toxin in adult patients presenting with spasticity. The secondary objectives were to determine the potential efficacy of VR to alleviate anxiety and to assess the level of satisfaction of the patient. Based on literature, we hypothesized that VR yielded to procedural pain decrease in comparison with without VR.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

This is a one-arm retrospective study conducted in the Physical Medicine and Rehabilitation department of the University Hospital of Poitiers between February and August 2022. This study and data collection was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and the French Data Protection Authority (CNIL, MR-004). All data collection was declared to Health Data Hub (number...). All participants received a non-opposition form and agreed the use of their data for research purposes.

2.2. Inclusion and Exclusion Criteria

To be included, patients have to be over 18 years, undergone botulinum toxin injection in their care pathway, focal spastic hypertonia in at least 1 muscle of the upper or lower limbs justifying the use of botulinum toxin, to be able to provide answer for evaluating pain intensity and level of anxiety. All contraindications to toxin botulinum injection (myasthenia, pregnancy, breast-feeding, hypersensitivity to one of the substances in the product, infection at the injection site) and any pathological condition which does not allow optimal use of the virtual reality helmet (blindness, major visual acuity disorders, deafness) were not included. Patients who were unable to keep the virtual reality headset during the procedure (appearance of adverse effects, patient wanting to stop during the procedure) were excluded from the study.

2.3. Procedure

The patient was informed about the procedure of VR utilization and consent to wear the device. The patient was comfortably seated on the examination table. The VR device (HYPNOVR, <https://hypnovr.io/fr/produits/hypnovr/>) combined with headset (TaoTronic, model TT-BH085, reference 6972103466158) was set on the patient as comfortably as possible, and a movie showing calm visual environment (walking on the beach, diving among colored fishes, or traveling in space) combined with relaxing music was displayed. The VR program consisted in a 2 minutes of induction phase (before injection), 10-20 minutes of the main VR pathway (during injection), and 2 minutes of exit phase. Data were collected before and after the procedures.

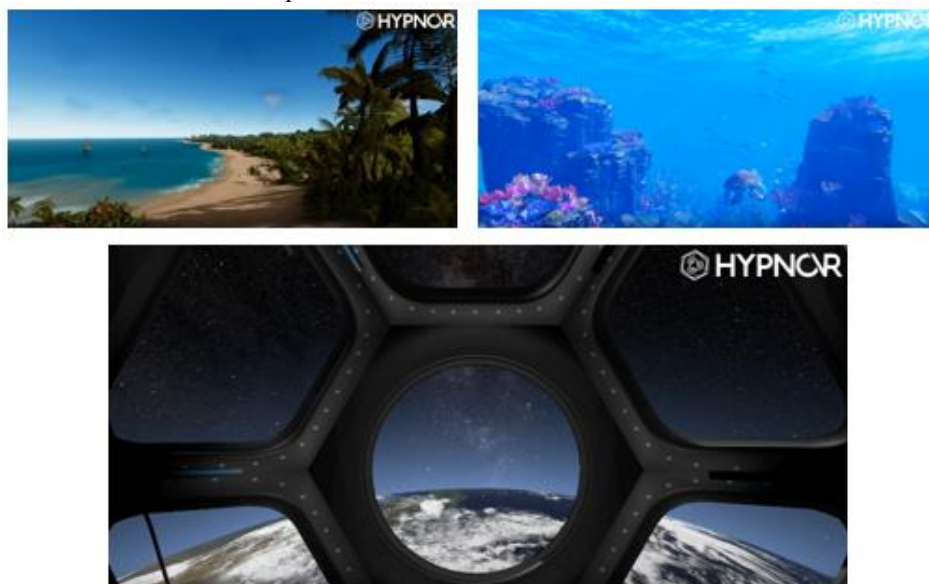


Figure 10 Virtual images in the headset (pictures from <https://hypnovr.io/fr/>, all rights reserved)

2.4. Outcomes

Pain intensity, considered as the primary endpoint, was collected using a numerical rating scale (NRS) ranging from 0 (no pain) to 10 (maximum imaginable pain). The patient reported the pain experienced during previous injections without VR before injection and pain experienced in the current procedure with VR after the end of the procedure. In addition, perceived improvement was determined by the patient as a percentage of added value of the VR on pain intensity compared to procedure without VR.

Level of anxiety, related to previous injection without VR and current injection with VR, was collected with a numerical anxiety rating scale from 0 (no anxiety) to 10 (maximum imaginable anxiety). In addition, perceived improvement was determined by the patient as a percentage of added value of the VR on level of anxiety compared to procedure without VR.

Level of satisfaction was determined using a 11-point scale from 0 (not satisfied at all) to 10 (very satisfied) and if they agreed to reuse VR for the subsequent toxin botulinum injection, and if they would recommend VR to other patients.

The targeted muscles for injection, the method to localize injection sites (ultrasound or electrostimulation), the analgesic medication intake, the use of additive analgesic for toxin injection, the time of the day, and the occurrence of adverse events were collected.



Figure 2 Patient with virtual reality headset

2.5. Statistical Analysis

The study population was described by age, sex, disease, and baseline pain intensity. Quantitative variables were described by either using mean and standard deviation or median and interquartile range depending on data normality. Categorical variables were described by numbers and percentages. Normality was verified using the Shapiro-Wilk test.

Pain intensity NRS and the level of anxiety during the procedure with and without VR were compared using a Wilcoxon signed-rank test (paired test) since the variable was not normally distributed.

Mean and standard deviation of perceived improvement using VR and satisfaction with VR were also reported.

3. Results

3.1. Participants

Twenty-one patients were identified over the 7-month inclusion period. Four patients were excluded, three due to incomplete data collection and one due to cyberkinetosis occurrence with VR. A total of 17 patients were included and analyzed.

Patient characteristics are presented in the Table 1. The mean age of the participants was 49.9 ± 10.6 years, with 9 females (53%). Spasticity was subsequent to stroke for 9 (52.9%) patients, cerebral palsy for 3 (17.6%), multiple sclerosis for 2 (11.8%), cervico-arthrosic myelopathy for 1 (5.9%), hereditary spastic paraplegia for 1 (5.9%), and meningitis for 1 (5.9%). 1 patient received MEOPA and 1 patient EMLA®. 1 patient was treated with long-term TRAMADOL.

5,4 muscles were targeted in average by patient and the median injected muscle is 5. The different injection sites were presented in the table 2 and table 3.

Table 1 Patient characteristics

Variables	mean $\pm$ SD / n (%)
-----------	-----------------------

Age (years)	49.9 ± 10.6
Sex	
Male	8 (47.1%)
Female	9 (52.9%)
Disease diagnosis	
Stroke	9 (52.9%)
Cerebral palsy	3 (17.6%)
Multiple sclerosis	2 (11.8%)
Cervical Myelopathy	1 (5.9%)
Hereditary spastic paraplegia	1 (5.9%)
Cerebrospinal meningitis	1 (5.9%)
Use of analgesic drugs	
No	14 (82,4%)
Yes	3 (17,6%)
Baseline pain intensity NRS (0-10) median (min-max)	0 (0-4)

NRS: numerical rating scale

Table 2 Upper limb injection

	Trapezius	Levator	Pectoralis	Pectoralis	Teres major	Deltoid	Biceps	Brachialis	Brachioradialis	Triceps	Pronator	Flexor carpi	Flexor carpi	Flexor	Flexor	Flexor	Flexor	Adductor	Abductor	Interossei
Patient 1																				
Patient 2			1											1	1	1				
Patient 3																				
Patient 4							1	1						1						
Patient 5																				
Patient 6	1	1						1						1	1			1		
Patient 7																				
Patient 8																				
Patient 9			1		1			1						1	1					1
Patient 10							1	1	1								1	1		
Patient 11							1	1												
Patient 12																				

Patient 13												1	1	1	1					
Patient 14								1				1	1						1	
Patient 15								1						1	1					1
Patient 16			1	1		1		1	1			1	1						1	
Patient 17							1	1	1	1	1			1	1	1		1		1
%	1,1 %	1,1 %	3,4 %	1,1 %	1,1 %	1,1 %	4,5 %	10,1 %	3,4 %	1,1 %	1,1 %	3,4 %	3,4 %	7,9 %	6,7 %	2,2 %	1,1 %	3,4 %	2,2 %	3,4 %

Table 3 Lower limb injection

	Rectus femoris	Adductor longus	Tibialis posterior	Gastrocnemius medial head	Gastrocnemius lateral head	Soleus	Flexor digitorum longus	Flexor hallucis longus
Patient 1	1			1	1	1		
Patient 2				1	1	1		
Patient 3		1						
Patient 4								
Patient 5			1	1	1	1		
Patient 6								
Patient 7				1	1	1		
Patient 8	1		1	1	1	1	1	
Patient 9								
Patient 10								
Patient 11	1		1					
Patient 12		1	1					
Patient 13								
Patient 14				1	1	1		
Patient 15			1	1	1	1		1
Patient 16								
Patient 17								
%	3,4%	2,2%	5,6%	7,9%	7,9%	7,9%	1,1%	1,1%

3.2. Primary and secondary outcomes

3.2. Primary and secondary outcomes

Pain intensity was significantly lower during injection procedure with VR (2.3 ± 1.5) than without VR (4.3 ± 2.7 , $p=0.014$) (Figure 4 and Table 4). The number of responding patient is 76%

Level of anxiety NRS was not significantly different between injection with (1.3 ± 2.1) and without VR (2.1 ± 3.0 , $p=0.054$) (Figure 4 and Table 4). The number is responding patient is 29%.

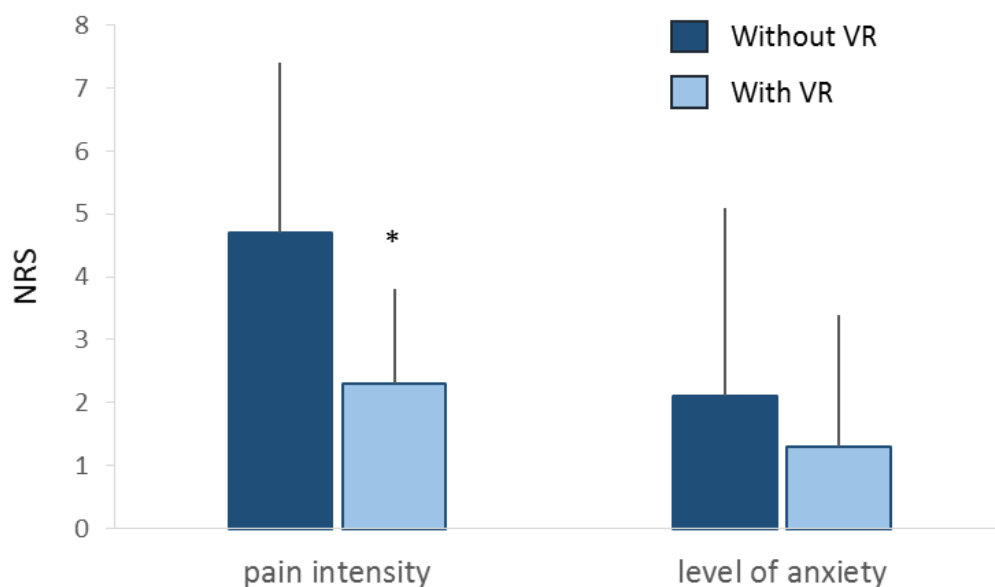


Figure 4 Mean pain and anxiety NRS and its standard deviation during the procedure with (light blue) and without VR (dark blue). * $p < 0.05$ between with and without VR.

Table 4 Primary and secondary outcomes comparisons

Variables	Without VR	With VR	p-value
Pain during procedure	4.1 ± 2.7	2.3 ± 1.5	0.014
Anxiety during procedure	2.1 ± 3.0	1.3 ± 2.1	0.054
Perceived percentage of improvement	-		
Pain intensity		$39.7\% \pm 30.9\%$	
Level of Anxiety		$21.5\% \pm 25.0\%$	
Patient satisfaction (0-10)	-	7.9 ± 1.6	
Agreed to reuse VR for next injection	-		
Yes		15 (88.2%)	
No		2 (11.8%)	
Does the patient recommend VR for other patients? -			
Yes		17 (100%)	
No		0 (0%)	

Patients reported a mean subjective impression of improvement of $39.7 \pm 30.9\%$ for pain and $21.5 \pm 25.0\%$ for anxiety during the procedure with VR. Patients mean overall satisfaction was 7.9 ± 1.6 out of 10 (Table 2).

Regarding adverse events, only 1 patient (5.9%) experienced cyberkineses.

Fifteen patients (88.2%) agreed to reuse VR for the subsequent toxin botulinum injection, and all patients (100%) would recommend VR to other patients (Table 2).

4. Discussion

The objective of this study was to assess VR efficacy to reduce procedural pain and anxiety during toxin botulinum injection in adults presenting with spasticity. We showed that VR was able to significantly decrease procedural pain. Patients were very satisfied of using VR during the injection and were agreeing to reuse the VR helmet, and recommend this approach for others patients.

In a systematic review including 18 studies, Smith et al. [19] reported that 12 studies demonstrated that VR led to significant reduction of pain in pain procedure for burns, wounds, or injection etc. Similarly, in a systematic review with meta-analysis, Mallari et al. [22] showed that VR was able to reduce acute procedural pain in adults. More specifically for botulinum injection procedure, using the Face, Legs, Activity, Cry, Consolability (FLACC) test for assessing pain, Chau et al. [21] reported a median score of 2.5 in 14 children treated for spasticity. In an adult population, we reported a pain intensity score of 2.3 with VR. Although previous research did not focus on procedural pain for Botulinum toxin in adults, our study suggests that non-invasive device VR can easily improve procedural injection lasting every 3 months and could ultimately enhance therapeutic adherence.

The main principle of VR is to provide strong and enough distraction to redirect attention initially focused on pain to a calm environment. Thereby, VR can effectively modify sensory perception such as pain by monopolizing high amount of attentional resources [26]. By competing attention between VR environment and pain, Rutter et al. [27] reported that VR led to sustain an increase pain threshold and pain tolerance over 8 weeks (8 testing sessions) in 28 healthy participants experienced cold-pressor pain. In the current study, VR was applied with an immersive device which enable to provide high degree of immersion inside a specific peaceful environment in one session of Botulinum toxin injection [28–30]. While VR was able to manage chronic pain [31], long term effect and sustainable effect of VR in Botulinum toxin injection in adults have to be determined. In addition, combining hypnosis with VR could potentiate the effect of VR to manage procedural pain [32–36], and should be investigate in the future.

Although literature reported positive effect of VR on anxiety [37,38], our results only showed a trend to decrease. While we failed to observe strong effect on anxiety, it safe to assume that the level of anxiety at baseline (2.1) was too low for reducing it significantly in population who had already undergone several botulinum toxin injection procedures. Investigating population of patients receiving their very first injection would probably yield to significantly decrease the procedural anxiety in Botulinum toxin injection in adult population.

Patients of the current study were very satisfied by the VR (7.9 out of 10) and would be agreed to reuse VR for next injection (88%) and to recommend VR for other patients (100%). Besides, Smith et al. [19] highlighted rare adverse events (8-10%) which it is consistent with the only 1 case of cybersickness observed in our study. Side effect observed during VR are considered as transient and reversible, making VR a safe approach to manage procedural pain in neurologic population. In addition, VR might be considered as a valuable alternative to medical therapies that did not necessitate additional practitioner and supplementary cost than the VR device itself in comparison with pharmacological management. The medico-economic study should be conducted to validate this hypothesis.

This pilot study is associated with limitations. The retrospective design of the study conducted in clinical routine provide real world data but involve potential bias of declarative assessment and did not compare results with a parallel control group. The added value of VR in Botulinum toxin injection should be determined in long-term in a randomized controlled trial.

5. Conclusions

Our study showed that VR was useful for managing pain related to botulinum toxin injection in adults and patient were very satisfied by the device. In addition, they declared agreed to reuse VR for the next injection and to recommend this approach to other patients presenting with spasticity. VR should be considered as an alternative treatment option to pharmacological approach in Botulinum toxin injection and required to conduct prospective randomized controlled trial with long-term follow-up and cost-effectiveness analysis

Author Contributions: Conceptualization, Romain DAVID, Maxime BILLOT, Solène DUVAL, Alexis DUMAS; methodology, Romain DAVID, Maxime BILLOT and Alexis DUMAS; formal analysis, Amine OUNAJIM; investigation, Romain DAVID, Alexis DUMAS, Valentine GILQUIN, Laura MAININI, Rémi CABIROL, Emmanuel AMAUGER, Anne JOSSART; data curation, Alexis DUMAS and Amine OUNAJIM; writing—original draft preparation, Alexis DUMAS, Romain DAVID and Maxime BILLOT; writing—review and editing, Etienne OJARDIAS, Solène DUVAL, Valentine GILQUIN, Laura MAININI, Rémi CABIROL, Emmanuel AMAUGER, Anne JOSSART, Amine OUNAJIM, Anaick PERROCHON, Carlos LUQUE-MORENO, Frédéric VISEUX, Maarten MOENS, Lisa GOUDMAN, Philippe RIGOARD; visualization, Romain DAVID, Alexis DUMAS and Maxime BILLOT; supervision, Romain David and Maxime BILLOT; project administration, Romain DAVID. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of Health Data Hub (protocol code XXX and date of approval).” for studies involving humans.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to ethical consideration.

Acknowledgments: We thank Jeffrey Arsham for his proofreading of the manuscript and his suggestions regarding medical writing.

Conflicts of Interest: Romain David reports speaker fees from Abbvie, Merz Pharma, Ipsen Pharma and Medtronic, outside the submitted work. Philippe Rigoard reports grants and personal fees from Medtronic, Abbott, Boston Scientific, Abbvie and Merz pharma outside the submitted work. Maarten Moens reports speaker fees from Medtronic and Nevro, outside the submitted work. Maxime Billot reports speaker fees from Abbvie outside the submitted work.. All other authors have nothing to disclose.

References

- [1] World Health Organization. International Classification of Functioning, Disability and Health. 2001.
- [2] Afssaps. Recommandations de bonne pratique : Traitements médicamenteux de la spasticité. 2009.
- [3] Cameron MH, Bethoux F, Davis N, Frederick M. Botulinum Toxin for Symptomatic Therapy in Multiple Sclerosis. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2014;14:463. <https://doi.org/10.1007/s11910-014-0463-7>.
- [4] Chaléat-Valayer E, Parratte B, Colin C, Denis A, Oudin S, Bérard C, et al. A French observational study of botulinum toxin use in the management of children with cerebral palsy: BOTULOSCOPE. *Eur J Paediatr Neurol EJPEN Off J Eur Paediatr Neurol Soc* 2011;15:439–48. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2010.04.006>.
- [5] Fisher MT, Zigler CK, Houtrow AJ. Factors affecting procedural pain in children during and immediately after intramuscular botulinum toxin injections for spasticity. *J Pediatr Rehabil Med* 2018;11:193–7. <https://doi.org/10.3233/PRM-170516>.
- [6] Bayon-Mottu M, Gambart G, Deries X, Tessiot C, Richard I, Dinomais M. Pain during injections of botulinum toxin in children: Influence of the localization technique. *Ann Phys Rehabil Med* 2014;57:578–86. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2014.09.010>.
- [7] Brochard S, Blajan V, Lempereur M, Garlantezec R, Houx L, Le Moine P, et al. Determining the technical and clinical factors associated with pain for children undergoing botulinum toxin injections under nitrous oxide and anesthetic cream. *Eur J Paediatr Neurol EJPEN Off J Eur Paediatr Neurol Soc* 2011;15:310–5. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2010.12.006>.
- [8] JOINDREAU-GAUDE V, NOËL N. Douleur et soins. In: Fondation Garches, Institut fédératif de recherche sur le handicap, editors. *Handicap Douleur Actes 24es Entret. Fond. Garches Nanterre 24-25 Novembre 2011, Neuilly-Sur-Seine: Éd. GM Santé; 2011, p. 101–9.*
- [9] Francisco GE, Balbert A, Bavikatte G, Bensmail D, Carda S, Deltombe T, et al. A practical guide to optimizing the benefits of post-stroke spasticity interventions with botulinum toxin A: An international group consensus. *J Rehabil Med* 2021;53:jrm00134. <https://doi.org/10.2340/16501977-2753>.

- [10] Nugud A, Alhoot S, Agabna M, Babiker MOE, El Bashir H. Analgesia and sedation modalities used with botulinum toxin injections in children with cerebral palsy: a literature review. *Sudan J Paediatr* 2021;21:6–12. <https://doi.org/10.24911/SJP.106-1604549033>.
- [11] Fung S, Phadke CP, Kam A, Ismail F, Boulias C. Effect of topical anesthetics on needle insertion pain during botulinum toxin type A injections for limb spasticity. *Arch Phys Med Rehabil* 2012;93:1643–7. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.03.012>.
- [12] Gubbay A, Langdon K. “Effectiveness of sedation using nitrous oxide compared with enteral midazolam for botulinum toxin A injections in children.” *Dev Med Child Neurol* 2009;51:491–2; author reply 492. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03297_1.x.
- [13] Nilsson S, Brunsson I, Askljung B, Pålman M, Himmelmann K. A rectally administered combination of midazolam and ketamine was easy, effective and feasible for procedural pain in children with cerebral palsy. *Acta Paediatr Oslo Nor* 1992 2017;106:458–62. <https://doi.org/10.1111/apa.13710>.
- [14] Gambart G, Mette F, Pellot A-S, Richard I. [Evaluation of analgesic protocol with nitrous oxide and EMLA cream during botulinum toxin injections in children]. *Ann Readaptation Med Phys Rev Sci Soc Francaise Reeduction Fonct Readaptation Med Phys* 2007;50:275–9. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2007.02.003>.
- [15] Jones T, Moore T, Choo J. The Impact of Virtual Reality on Chronic Pain. *PloS One* 2016;11:e0167523. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167523>.
- [16] Trost Z, France C, Anam M, Shum C. Virtual reality approaches to pain: toward a state of the science. *Pain* 2021;162:325–31. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002060>.
- [17] Goudman L, Jansen J, De Smedt A, Billot M, Roulaud M, Rigoard P, et al. Virtual Reality during Intrathecal Pump Refills in Children: A Case Series. *J Clin Med* 2022;11:5877. <https://doi.org/10.3390/jcm11195877>.
- [18] Alemanno F, Houdayer E, Emedoli D, Locatelli M, Mortini P, Mandelli C, et al. Efficacy of virtual reality to reduce chronic low back pain: Proof-of-concept of a non-pharmacological approach on pain, quality of life, neuropsychological and functional outcome. *PLOS ONE* 2019;14:e0216858. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216858>.
- [19] Smith V, Warty RR, Sursas JA, Payne O, Nair A, Krishnan S, et al. The Effectiveness of Virtual Reality in Managing Acute Pain and Anxiety for Medical Inpatients: Systematic Review. *J Med Internet Res* 2020;22:e17980. <https://doi.org/10.2196/17980>.
- [20] Gold JJ, Mahler NE. Is Virtual Reality Ready for Prime Time in the Medical Space? A Randomized Control Trial of Pediatric Virtual Reality for Acute Procedural Pain Management. *J Pediatr Psychol* 2018;43:266–75. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsx129>.
- [21] Chau B, Chi B, Wilson T. Decreasing pediatric pain and agitation during botulinum toxin injections for spasticity with virtual reality: Lessons learned from clinical use. *J Pediatr Rehabil Med* 2018;11:199–204. <https://doi.org/10.3233/PRM-180534>.
- [22] Mallari B, Spaeth EK, Goh H, Boyd BS. Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis. *J Pain Res* 2019;Volume 12:2053–85. <https://doi.org/10.2147/JPR.S200498>.
- [23] Johnson MH. How does distraction work in the management of pain? *Curr Pain Headache Rep* 2005;9:90–5. <https://doi.org/10.1007/s11916-005-0044-1>.
- [24] Indovina P, Barone D, Gallo L, Chirico A, De Pietro G, Giordano A. Virtual Reality as a Distraction Intervention to Relieve Pain and Distress During Medical Procedures: A Comprehensive Literature Review. *Clin J Pain* 2018;34:858–77. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000599>.
- [25] Abiodun AO, Adesina MA. Virtual reality: a breakthrough in pain management? *World News Nat Sci* 2019:24–33.
- [26] Wismeijer AAJ, Vingerhoets AJJM. The use of virtual reality and audiovisual eyeglass systems as adjunct analgesic techniques: a review of the literature. *Ann Behav Med Publ Soc Behav Med* 2005;30:268–78. https://doi.org/10.1207/s15324796abm3003_11.
- [27] Rutter CE, Dahlquist LM, Weiss KE. Sustained efficacy of virtual reality distraction. *J Pain* 2009;10:391–7. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2008.09.016>.
- [28] Birnie KA, Noel M, Parker JA, Chambers CT, Uman LS, Kisely SR, et al. Systematic review and meta-analysis of distraction and hypnosis for needle-related pain and distress in children and adolescents. *J Pediatr Psychol* 2014;39:783–808. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsu029>.
- [29] Koller D, Goldman RD. Distraction techniques for children undergoing procedures: a critical review of pediatric research. *J Pediatr Nurs* 2012;27:652–81. <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2011.08.001>.

- [30] Ventura S, Brivio E, Riva G, Baños RM. Immersive Versus Non-immersive Experience: Exploring the Feasibility of Memory Assessment Through 360° Technology. *Front Psychol* 2019;10:2509. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02509>.
- [31] Goudman L, Jansen J, Billot M, Vets N, De Smedt A, Roulaud M, et al. Virtual Reality Applications in Chronic Pain Management: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Serious Games* 2022;10:e34402. <https://doi.org/10.2196/34402>.
- [32] Patterson DR, Hoffman HG, Chambers G, Bennetts D, Hunner HH, Wiechman SA, et al. Hypnotic Enhancement of Virtual Reality Distraction Analgesia during Thermal Pain: A Randomized Trial. *Int J Clin Exp Hypn* 2021;69:225–45. <https://doi.org/10.1080/00207144.2021.1882259>.
- [33] Rousseaux F, Bicego A, Ledoux D, Massion P, Nyssen A-S, Faymonville M-E, et al. Hypnosis Associated with 3D Immersive Virtual Reality Technology in the Management of Pain: A Review of the Literature. *J Pain Res* 2020;13:1129–38. <https://doi.org/10.2147/JPR.S231737>.
- [34] Rousseaux F, Dardenne N, Massion PB, Ledoux D, Bicego A, Donneau A-F, et al. Virtual reality and hypnosis for anxiety and pain management in intensive care units: A prospective randomised trial among cardiac surgery patients. *Eur J Anaesthesiol* 2022;39:58–66. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001633>.
- [35] Rousseaux F, Panda R, Toussaint C, Bicego A, Niimi M, Faymonville M-E, et al. Virtual reality hypnosis in the management of pain: Self-reported and neurophysiological measures in healthy subjects. *Eur J Pain Lond Engl* 2023;27:148–62. <https://doi.org/10.1002/ejp.2045>.
- [36] Langlois P, Perrochon A, David R, Rainville P, Wood C, Vanhaudenhuyse A, et al. Hypnosis to manage musculoskeletal and neuropathic chronic pain: A systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 2022;135:104591. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104591>.
- [37] Eijlers R, Utens EMWJ, Staals LM, de Nijs PFA, Berghmans JM, Wijnen RMH, et al. Systematic Review and Meta-analysis of Virtual Reality in Pediatrics: Effects on Pain and Anxiety. *Anesth Analg* 2019;129:1344–53. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004165>.
- [38] Bani Mohammad E, Ahmad M. Virtual reality as a distraction technique for pain and anxiety among patients with breast cancer: A randomized control trial. *Palliat Support Care* 2019;17:29–34. <https://doi.org/10.1017/S1478951518000639>

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

XII. Résumé

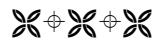
Contexte et objectifs : Les injections de toxine botulique sont couramment utilisées pour le traitement de la spasticité. Cependant, les procédures d'injection sont associées à une douleur et à de l'anxiété liées à la procédure. Alors que l'approche pharmacologique est couramment utilisée, une technologie innovante pourrait être considérée comme une alternative non pharmacologique. Dans ce contexte, la réalité virtuelle (RV) a montré son efficacité dans la gestion de la douleur procédurale dans d'autres contextes que celui de la spasticité. Notre étude pilote rétrospective visait à évaluer la valeur ajoutée potentielle de la réalité virtuelle dans la gestion de la douleur et de l'anxiété lors des injections intramusculaires de toxine botulique chez l'adulte.

Matériel et méthodes : Vingt et un patients adultes recevant des injections de toxine botulique ont été inclus. Une échelle d'évaluation numérique a été utilisée pour évaluer la douleur et l'anxiété pendant la procédure d'injection. Le patient a signalé la douleur ressentie lors d'injections précédentes sans RV avant l'injection et la douleur ressentie lors de la procédure actuelle avec RV après la fin de la procédure. Le niveau de satisfaction de l'expérience de RV et l'acceptation de réutiliser le RV pour les injections ultérieures de toxine botulique, ainsi que la recommandation de la RV à d'autres patients ont été évalués.

Résultats : L'utilisation de la réalité virtuelle a montré une diminution de 1,8 points de la procédure liée à la douleur par rapport à l'absence de RV. Aucune amélioration significative du niveau d'anxiété n'a été signalée. Les patients étaient très satisfaits de leur expérience de RV (7,9 sur 10), et accepteraient de réutiliser la RV lors de leur prochaine procédure d'injection (88%) et de recommander l'utilisation de la RV à d'autres patients (100%).

Conclusion : La RV a été utile pour gérer la douleur liée à l'injection de toxine botulique chez les adultes, avec un haut niveau de satisfaction rapporté par le patient. La RV devrait être considérée comme une alternative valable à l'approche pharmacologique pour gérer la douleur procédurale pendant l'injection de toxine botulique chez les adultes.

XIII. SERMENT



En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ! Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque !



Résumé

Contexte et objectifs : Les injections de toxine botulique sont couramment utilisées pour le traitement de la spasticité. Cependant, les procédures d'injection sont associées à une douleur et à de l'anxiété liées à la procédure. Alors que l'approche pharmacologique est couramment utilisée, une technologie innovante pourrait être considérée comme une alternative non pharmacologique. Dans ce contexte, la réalité virtuelle (RV) a montré son efficacité dans la gestion de la douleur procédurale dans d'autres contextes que celui de la spasticité. Notre étude pilote rétrospective visait à évaluer la valeur ajoutée potentielle de la réalité virtuelle dans la gestion de la douleur et de l'anxiété lors des injections intramusculaires de toxine botulique chez l'adulte.

Matériel et méthodes : Vingt et un patients adultes recevant des injections de toxine botulique ont été inclus. Une échelle d'évaluation numérique a été utilisée pour évaluer la douleur et l'anxiété pendant la procédure d'injection. Le patient a signalé la douleur ressentie lors d'injections précédentes sans RV avant l'injection et la douleur ressentie lors de la procédure actuelle avec RV après la fin de la procédure. Le niveau de satisfaction de l'expérience de RV et l'acceptation de réutiliser le RV pour les injections ultérieures de toxine botulique, ainsi que la recommandation de la RV à d'autres patients ont été évalués.

Résultats : L'utilisation de la réalité virtuelle a montré une diminution de 1,8 points de la procédure liée à la douleur par rapport à l'absence de RV. Aucune amélioration significative du niveau d'anxiété n'a été signalée. Les patients étaient très satisfaits de leur expérience de RV (7,9 sur 10), et accepteraient de réutiliser la RV lors de leur prochaine procédure d'injection (88%) et de recommander l'utilisation de la RV à d'autres patients (100%).

Conclusion : La RV a été utile pour gérer la douleur liée à l'injection de toxine botulique chez les adultes, avec un haut niveau de satisfaction rapporté par le patient. La RV devrait être considérée comme une alternative valable à l'approche pharmacologique pour gérer la douleur procédurale pendant l'injection de toxine botulique chez les adultes.