



AI-ADAPT
ETAT DE L'ART

Re :Gain

Soumis par :

Erisa KOHANSAL
Sama SATARIYAN
Shirel AMOZIEG

Sous la direction de :

Amel YESSAD

Table des matières

1	Introduction	1
2	Re :Gain	1
2.1	Generating the Visual Biofeedback Signals Applicable to Reduction of Wrist Spasticity : A Pilot Study on Stroke Patients [1]	1
2.2	Video Game-Based Rehabilitation Approach for Individuals Who Have Undergone Upper Limb Amputation : Case-Control Study [2]	3
2.3	Electromyographic biofeedback-driven gaming to alter calf muscle activation during gait in children with spastic cerebral palsy [3]	4
2.4	Applications of Biological and Physiological Signals in Commercial Video Gaming and Game Research : A Review [4]	6
3	Conclusion	8

1 Introduction

L'application des dispositifs multimodaux transforme les interactions des utilisateurs avec des systèmes numériques, rend l'environnement numérique plus interactif et procure une sensation plus naturelle, que ce soit dans les jeux, la réalité virtuelle, les simulateurs ou les applications éducatives. Ces dispositifs permettent une interaction plus personnalisée et une expérience mieux adaptée aux besoins des utilisateurs. C'est pour cette raison qu'ils sont largement utilisés dans le domaine de la rééducation.

Les patients ont besoin d'être rééduqués suite à un événement malheureux comme un AVC, un accident de voiture, une opération chirurgicale, une blessure sportive ou une maladie neuromusculaire. Traditionnellement, cette rééducation s'effectue à l'aide d'outils classiques de physiothérapie, tels que des exercices supervisés, des bandes élastiques ou des appareils de renforcement musculaire. Cependant, l'intégration des dispositifs multimodaux dans des environnements ludiques permet d'ouvrir de nouvelles perspectives, notamment en rendant les séances plus engageantes et motivantes.

C'est dans ce contexte que s'inscrivent les jeux sérieux : des jeux qui ont un objectif allant au-delà du simple divertissement et qui peuvent être utilisés pour soutenir la rééducation en proposant une interaction plus immersive, personnalisée et adaptée à l'utilisateur.

2 Re :Gain

Re :Gain est un jeu sérieux dont l'objectif est d'exploiter deux capteurs EMG, placés respectivement sur le bras et sur la jambe, à travers lesquels l'utilisateur peut contrôler un mini-jeu de rééducation. Un capteur EMG de surface est un dispositif non invasif placé sur la peau permettant de mesurer l'activité électrique des muscles lors de leur contraction. Dans ce jeu, le personnage évolue dans un environnement en défilement horizontal et doit franchir des obstacles en sautant ou en avançant, des actions directement déclenchées par les contractions musculaires détectées par les capteurs.

Dans ce cadre, l'objectif de cet état de l'art est de comparer plusieurs travaux récents portant sur l'usage de signaux physiologiques dans les systèmes interactifs, en particulier ceux utilisant l'EMG pour le contrôle, la rééducation ou l'adaptation.

Les sections suivantes présentent l'analyse de quatre articles issus de la littérature récente, chacun étudié selon une grille commune afin de permettre une comparaison claire et structurée.

2.1 Generating the Visual Biofeedback Signals Applicable to Reduction of Wrist Spasticity : A Pilot Study on Stroke Patients [1]

1. Domaine d'application

Cet article s'inscrit dans le domaine de la rééducation motrice post-AVC, et plus particulièrement dans la prise en charge de la spasticité du poignet. Il étudie l'utilisation d'un système de biofeedback visuel généré à partir d'un signal EMG afin d'aider les patients à mieux contrôler l'activation musculaire de l'avant-bras. L'objectif général est d'améliorer la qualité des mouvements volontaires en fournissant

un retour visuel directement lié à l'activité musculaire, ce qui fait de cette approche un outil complémentaire dans le cadre de la rééducation neuromotrice.

2. Objectifs du dispositif proposé

Le dispositif vise d'abord à générer un biofeedback visuel à partir du signal EMG afin de guider les patients dans l'exécution correcte de leurs exercices. L'objectif est également de réduire la spasticité du poignet en améliorant le contrôle musculaire volontaire grâce à ce retour immédiat. Enfin, l'étude cherche à évaluer la faisabilité et l'efficacité clinique de cette approche auprès de patients post-AVC.

3. Modèles mobilisés

Le dispositif repose sur l'extraction de différentes caractéristiques du signal EMG, telles que la valeur RMS ou l'entropie de Shannon, afin de décrire l'activation musculaire. Ces informations permettent de modéliser le niveau de contraction et de distinguer les mouvements « sains » des contractions spastiques. À partir de ce traitement, un feedback visuel est généré en temps réel, selon un modèle physiologique direct EMG → représentation visuelle, sans recourir à des approches d'intelligence artificielle complexes.

4. Questions de recherche

L'étude cherche à déterminer quels types de signaux EMG sont les plus pertinents pour représenter visuellement la spasticité et le niveau de contrôle musculaire. Elle examine également dans quelle mesure un biofeedback visuel basé sur l'EMG peut contribuer à réduire la spasticité du poignet chez des patients post-AVC. Enfin, elle s'intéresse à l'utilisabilité du dispositif, en évaluant s'il peut être utilisé et accepté dans des conditions cliniques réelles.

5. Types de traces utilisées

L'étude s'appuie principalement sur des signaux EMG enregistrés au niveau de l'avant-bras, et plus précisément sur les muscles fléchisseurs du poignet. Ces signaux sont ensuite transformés en mesures quantitatives grâce à l'extraction de caractéristiques telles que la valeur RMS, l'entropie ou la variance. En complément, des observations cliniques des mouvements du poignet sont également utilisées pour interpréter la qualité des contractions et évaluer les effets du biofeedback.

6. Protocole d'évaluation du modèle / dispositif

Le dispositif a été évalué dans le cadre d'une étude pilote menée auprès d'un petit nombre de patients post-AVC. Les signaux EMG ont été enregistrés pendant l'exécution d'exercices guidés, puis comparés avant et après l'introduction du biofeedback visuel afin d'observer d'éventuelles améliorations dans l'activation musculaire. Cette analyse quantitative a été complétée par une évaluation clinique qualitative de la réduction de la spasticité. L'ensemble du protocole s'est déroulé sur une durée courte, dans des conditions expérimentales contrôlées.

7. Résultats obtenus

Les résultats montrent que le traitement du signal EMG permet de distinguer efficacement les contractions volontaires des mouvements spastiques. Le biofeedback visuel s'est révélé utile pour aider les patients à ajuster leurs contractions, et une amélioration du contrôle musculaire a été observée chez plusieurs participants. Toutefois, ces résultats restent préliminaires et ne peuvent pas être généralisés en raison du caractère pilote de l'étude et de la taille réduite de l'échantillon.

8. Défis, limites, perspectives

L'étude présente plusieurs limites, notamment la taille réduite de l'échantillon et une applicabilité restreinte à la seule articulation du poignet. De plus, aucune comparaison n'a été menée avec d'autres formes de feedback, ce qui limite l'évaluation de l'efficacité relative du dispositif.

Malgré cela, les auteurs envisagent plusieurs pistes d'amélioration, comme l'extension de la méthode à d'autres muscles ou articulations, l'intégration d'algorithmes plus avancés pour adapter dynamiquement le feedback, ainsi que la conduite d'études sur des groupes de patients plus larges afin de confirmer les résultats obtenus.

2.2 Video Game-Based Rehabilitation Approach for Individuals Who Have Undergone Upper Limb Amputation : Case-Control Study [2]

1. Domaine d'application

L'étude de Hashim et al. (2021) s'inscrit dans le domaine de la rééducation du membre supérieur chez les personnes amputées transradiales, avec pour objectif principal l'entraînement au contrôle musculaire nécessaire à l'utilisation de prothèses myoélectriques. L'approche relève à la fois de la rééducation motrice, de l'entraînement fonctionnel et de l'usage de jeux sérieux, dans lesquels des environnements virtuels sont utilisés comme supports d'apprentissage moteur plutôt que comme dispositifs médicaux autonomes.

2. Objectifs du dispositif proposé

Le dispositif vise à améliorer la force musculaire, la coordination et le contrôle volontaire du membre résiduel à travers des exercices de rééducation intégrés dans des jeux vidéo contrôlés par des signaux sEMG. En intégrant l'entraînement dans un contexte ludique, le système cherche à renforcer la motivation des participants, favoriser l'adhésion au protocole et encourager la répétition des mouvements, tout en soutenant l'apprentissage moteur requis pour le contrôle de prothèses myoélectriques.

3. Modèles mobilisés

Le système repose sur une approche de contrôle direct basé sur les signaux sEMG, acquis à l'aide d'un dispositif portable commercial (Myo Armband). Les niveaux d'activation musculaire sont exploités pour interagir avec les jeux vidéo, sans recourir à des modèles complexes de reconnaissance de gestes. Ce choix privilégie un contrôle continu et robuste, mieux adapté aux besoins pratiques de l'entraînement à l'utilisation de prothèses.

4. Questions de recherche

L'étude cherche à déterminer si un protocole de rééducation basé sur des jeux vidéo contrôlés par sEMG permet d'améliorer les performances motrices du membre supérieur chez des personnes amputées. Elle examine également l'existence d'une relation entre la durée de l'entraînement et l'amélioration des performances fonctionnelles, afin d'évaluer le potentiel de ce type de dispositif comme outil préparatoire à l'utilisation de prothèses myoélectriques.

5. Types de traces utilisées

Les principales traces exploitées sont les signaux électromyographiques de surface

enregistrés au niveau des muscles de l'avant-bras à l'aide du Myo Armband. En complément, le système collecte des données de performance liées aux tâches virtuelles, telles que les scores de jeu, le temps d'exécution ou le nombre de répétitions, permettant de suivre l'évolution des performances et de l'engagement des participants.

6. Protocole d'évaluation du modèle / dispositif

Le protocole d'évaluation est structuré sous la forme d'un programme d'entraînement longitudinal, comprenant 10 séances réparties sur 4 semaines, avec des sessions d'environ une heure. Les participants interagissent avec plusieurs jeux vidéo sollicitant différentes formes de contrôle musculaire. L'évaluation combine des indicateurs de performance en environnement virtuel et un test clinique standardisé, le Box and Block Test (BBT), utilisé pour mesurer la dextérité manuelle avant et après l'intervention.

7. Résultats obtenus

Les résultats rapportés indiquent une amélioration de la force musculaire, de la coordination et du contrôle moteur à l'issue du programme d'entraînement. Une corrélation significative entre le temps d'entraînement et les scores au Box and Block Test est également observée, suggérant un lien positif entre l'intensité de l'utilisation du dispositif et les performances fonctionnelles. Toutefois, ces résultats sont principalement présentés comme des indicateurs de faisabilité et de potentiel clinique.

8. Défis, limites, perspectives

L'étude présente plusieurs limites, notamment un effectif restreint, une durée d'intervention relativement courte et l'absence de groupe contrôle, ce qui limite la portée des conclusions cliniques. Néanmoins, elle met en évidence le potentiel des jeux vidéo contrôlés par sEMG comme outils accessibles et engageants pour l'entraînement à la rééducation. Les perspectives évoquées incluent la réalisation d'études à plus grande échelle, l'adoption de protocoles d'évaluation standardisés et une validation clinique plus robuste.

2.3 Electromyographic biofeedback-driven gaming to alter calf muscle activation during gait in children with spastic cerebral palsy [3]

1. Domaine d'application

Cet article s'inscrit dans le domaine de la rééducation de la marche auprès d'enfants atteints de paralysie cérébrale spastique. Il étudie l'utilisation d'un jeu sérieux associé à un biofeedback EMG, conçu pour modifier de manière ciblée l'activation musculaire du mollet durant la marche. L'objectif est d'exploiter un environnement ludique pour soutenir un entraînement moteur plus efficace et adapté aux besoins des enfants présentant une spasticité.

2. Objectifs du dispositif proposé

Le dispositif vise à utiliser un jeu vidéo contrôlé par EMG pour entraîner les enfants à activer plus efficacement leurs muscles du mollet pendant la marche. Il s'appuie sur un biofeedback en temps réel destiné à corriger les schémas moteurs spastiques et à guider l'utilisateur vers une activation musculaire plus adaptée. L'étude cherche

également à déterminer si l'intégration d'un environnement ludique peut renforcer l'engagement des enfants et améliorer leurs performances musculaires dans un contexte de rééducation.

3. Modèles mobilisés

Le dispositif repose sur l'analyse du signal EMG du muscle gastrocnémien, afin de suivre l'activation du mollet pendant la marche. Des caractéristiques du signal sont extraites pour générer en temps réel un feedback visuel utilisé dans le jeu. Le contrôle du jeu s'appuie sur un modèle physiologique simple reliant directement l'activité EMG aux actions réalisées, sans recourir à des techniques de deep learning. Enfin, une forme d'adaptation est intégrée au système, fondée sur la performance musculaire enregistrée au cours de la marche, afin d'ajuster progressivement l'entraînement.

4. Questions de recherche

L'étude cherche à déterminer si un jeu reposant sur un biofeedback EMG peut modifier de manière ciblée l'activation musculaire pendant la marche chez des enfants atteints de paralysie cérébrale spastique. Elle examine également si l'intégration d'un environnement ludique améliore l'engagement des enfants et la qualité globale de la rééducation. Enfin, elle s'interroge sur la précision et l'utilisabilité du dispositif en contexte clinique, afin d'évaluer sa pertinence pour soutenir un entraînement moteur spécifique.

5. Types de traces utilisées

L'étude exploite principalement des signaux EMG enregistrés au niveau du muscle du mollet, utilisés pour suivre l'activation musculaire durant la marche. Ces données sont complétées par différentes mesures de locomotion, incluant les phases d'activation musculaire et plusieurs paramètres de la marche. Les performances réalisées dans le jeu, telles que le niveau d'activation atteint ou le feedback reçu, constituent également des traces pertinentes. L'ensemble de ces informations est synchronisé avec la locomotion afin de analyser précisément l'effet du biofeedback sur le mouvement.

6. Protocole d'évaluation du modèle / dispositif

Le dispositif a été évalué dans le cadre d'une étude expérimentale menée auprès d'enfants atteints de paralysie cérébrale spastique. Les participants réalisaient des sessions de marche sur tapis roulant, équipés de capteurs EMG permettant de fournir un retour visuel en temps réel. Deux conditions étaient comparées : une marche sans feedback et une marche intégrant le jeu basé sur le biofeedback EMG. L'analyse s'appuyait principalement sur des mesures quantitatives de l'activation musculaire, notamment l'amplitude du signal EMG durant la phase d'appui, ainsi que sur l'évaluation de l'engagement des enfants à travers leur interaction avec le jeu.

7. Résultats obtenus

Les résultats montrent que l'utilisation du jeu basé sur l'EMG a permis d'augmenter l'activation musculaire ciblée pendant la marche. Les enfants ont également présenté un engagement supérieur grâce au caractère ludique du dispositif. Le biofeedback en temps réel s'est révélé efficace pour aider à ajuster immédiatement la contraction musculaire, ce qui favorise un apprentissage moteur plus précis. Toutefois, les effets observés restent variables selon les profils moteurs des participants,

ce qui souligne la nécessité d'adaptations plus personnalisées.

8. Défis, limites, perspectives

L'étude présente plusieurs limites, notamment la taille restreinte de l'échantillon et la forte variabilité observée entre les enfants, liée à des différences de spasticité, de contrôle moteur ou encore d'attention. À cela s'ajoutent les difficultés techniques associées à l'enregistrement d'un signal EMG stable pendant la marche, ainsi que l'absence de mesures à long terme, les effets étant uniquement évalués de manière immédiate.

Malgré ces contraintes, plusieurs pistes d'amélioration se dégagent : renforcer la robustesse du traitement EMG en condition de mouvement, intégrer davantage de mécanismes d'adaptation dans le jeu, comme une progression dynamique ou des récompenses, et étendre ce type de dispositif à d'autres groupes musculaires ou d'autres formes de rééducation. Enfin, des études longitudinales seraient nécessaires pour évaluer l'efficacité du système sur la durée et confirmer les résultats encourageants de cette première expérimentation.

2.4 Applications of Biological and Physiological Signals in Commercial Video Gaming and Game Research : A Review [4]

Cet article est une revue scientifique portant sur l'utilisation des cinq biosignaux les plus couramment utilisés dans la recherche sur les jeux vidéo et les jeux commercialisés c'est-à-dire les signaux physiologiques EMG, EEG, ECG, EOG et EDA. Dans le cadre de ce travail nous allons nous concentrer sur les jeux utilisant des signaux EMG car il s'agit de la modalité d'interaction centrale de notre dispositif Re :Gain.

1. Domaine d'application

L'article s'inscrit dans le domaine des jeux vidéo utilisant des signaux physiologiques pour enrichir l'interaction homme-machine, aussi bien en recherche que dans des applications commerciales. Parmi les modalités étudiées, l'électromyographie (EMG) occupe une place centrale. Les travaux recensés montrent qu'elle est largement utilisée dans des jeux dédiés à la rééducation motrice ou à l'entraînement musculaire, où elle permet de transformer l'effort physique en interaction ludique et de renforcer l'engagement des utilisateurs, notamment en contexte thérapeutique.

2. Objectifs du dispositif proposé

Les travaux recensés montrent que l'EMG est largement utilisée pour concevoir des technologies d'assistance en rééducation, notamment pour aider les patients à activer leurs muscles ou à améliorer l'anticipation du mouvement en cas de déficience motrice. Dans le domaine des prothèses, elle est souvent intégrée à des jeux servant de support pédagogique pour apprendre à les contrôler tout en maintenant la motivation. Ces approches renforcent l'engagement des utilisateurs et soutiennent leur progression physique. L'EMG est également exploité comme signal non invasif pour analyser l'état émotionnel des joueurs en mesurant en temps réel des réactions telles que l'attention, le stress ou l'immersion.

3. Modèles mobilisés

Les modèles mobilisés dans le cas des signaux EMG visent généralement à détecter l'activité musculaire, à reconnaître des contractions ou des gestes simples et à associer ces informations à des actions dans le jeu. Ces approches reposent souvent sur

des seuils d'activation, des mesures d'amplitude ou des méthodes de reconnaissance de motifs choisies pour leur robustesse et leur compatibilité avec des interactions en temps réel. Les signaux EMG peuvent ainsi servir soit de contrôleurs directs du jeu soit de support de biofeedback afin de guider l'utilisateur.

4. Questions de recherche

Les travaux recensés soulèvent plusieurs questions sur l'utilisation de l'EMG dans les jeux vidéo, notamment sa faisabilité et sa fiabilité comme modalité d'interaction, ainsi que son impact potentiel sur la rééducation motrice et la motivation des utilisateurs. L'article s'intéresse également à l'usage des biosignaux pour analyser les réactions émotionnelles des joueurs et à la possibilité d'adapter le gameplay en fonction de ces états. Enfin, il questionne la capacité de ces approches à être généralisées au-delà du cadre expérimental, compte tenu des contraintes techniques et matérielles des dispositifs grand public.

5. Types de traces utilisées

Les dispositifs décrits dans l'article exploitent principalement des traces physiologiques issues de l'électromyographie de surface. Les signaux EMG permettent de mesurer l'activité électrique des muscles et d'en extraire des informations telles que l'intensité et la durée des contractions musculaires. Ces traces sont utilisées pour détecter l'activation de groupes musculaires spécifiques ou reconnaître des contractions simples en temps réel. Dans certains travaux, les signaux EMG sont également combinés à d'autres traces physiologiques (comme l'EDA) afin d'analyser des états émotionnels ou des réactions des utilisateurs pendant le jeu.

6. Protocole d'évaluation du modèle / dispositif

Les dispositifs basés sur l'EMG sont généralement évalués à travers de petites études expérimentales ou des études pilotes visant à tester leur faisabilité et leur utilisabilité. Les protocoles s'appuient souvent sur des jeux simples permettant d'observer le contrôle moteur en temps réel. Les évaluations sont réalisées auprès de personnes en rééducation, parfois complétées par des utilisateurs sains, et portent sur la qualité du contrôle via l'EMG, la stabilité de l'interaction et l'engagement des participants. Toutefois, ces études restent exploratoires et reposent sur des méthodologies hétérogènes, ce qui limite la comparabilité des résultats.

7. Résultats obtenus

Les études recensées montrent que l'intégration de signaux EMG dans des jeux vidéo est faisable et permet une interaction efficace entre l'utilisateur et le système. Les dispositifs permettent aux participants de contrôler le jeu via leur activité musculaire et de s'entraîner à des mouvements ciblés. Plusieurs travaux soulignent que l'usage du jeu favorise l'apprentissage du contrôle musculaire, améliore l'endurance et renforce la motivation. Ces résultats sont prometteurs pour la rééducation motrice, bien qu'ils proviennent majoritairement d'études encore exploratoires.

8. Défis, limites, perspectives

Les travaux mettent en évidence plusieurs défis, notamment la variabilité et le bruit des signaux EMG, la nécessité d'une calibration précise et l'impact de la fatigue musculaire lors d'un usage prolongé. L'intégration des capteurs pose également des contraintes, en particulier pour garantir des dispositifs fiables et non intrusifs. Les études restent limitées par des protocoles hétérogènes et de petits échantillons, ce qui restreint la généralisation des résultats.

Malgré cela, les progrès des capteurs et des technologies associées ouvrent la voie à des jeux plus adaptatifs et à de nouvelles applications en rééducation et dans les expériences interactives.

3 Conclusion

Les quatre articles étudiés montrent tous l'intérêt grandissant des signaux physiologiques, et surtout de l'EMG, pour concevoir des systèmes interactifs capables d'accompagner ou de modifier l'activité musculaire des utilisateurs. Même si les contextes varient fortement ; rééducation post-AVC, paralysie cérébrale, interaction gestuelle ou dispositifs multimodaux, on retrouve plusieurs points communs.

D'abord, l'EMG apparaît clairement comme une modalité efficace pour suivre l'effort en temps réel et offrir un biofeedback immédiat, que ce soit via un signal visuel simple ou dans un environnement ludique. Ce type de retour permet d'impliquer davantage l'utilisateur et de mieux ajuster ses mouvements.

Ensuite, l'usage du jeu sérieux revient souvent. Il est présenté comme un moyen concret d'améliorer la motivation, la répétition des exercices et parfois la qualité du mouvement. Que ce soit chez les enfants ou les adultes, l'aspect ludique semble faciliter l'engagement dans la rééducation.

En parallèle, tous les travaux rappellent les limites de l'EMG : bruit du signal, variations entre utilisateurs, placement sensible des électrodes, ou encore les difficultés liées au mouvement. Ces contraintes nécessitent presque toujours une phase de calibrage, et les modèles doivent rester stables malgré la fatigue ou les variations de contraction.

Enfin, un besoin commun ressort : aller vers des systèmes plus adaptatifs, capables d'ajuster automatiquement la difficulté ou les seuils en fonction des performances de l'utilisateur. L'idée est souvent évoquée, mais rarement exploitée de manière poussée.

Dans ce contexte, notre projet Re :Gain s'inscrit naturellement dans la continuité de ces travaux. Avec un contrôle EMG, un jeu sérieux et un modèle utilisateur basé sur la force, la fatigue et la précision, nous cherchons à intégrer justement cette dimension adaptative manquante, afin de proposer une expérience de rééducation plus personnalisée et plus motivante.

Criterion	Zadnia et al. (2018)	Hashim et al. (2021)	Hughes et al. (2021)	Flux et al. (2023)
Application Domain	Post-stroke motor rehabilitation with a focus on wrist spasticity reduction	Upper-limb rehabilitation training for transradial amputees using sEMG-controlled videogames	Video games, human-computer interaction, biofeedback, and therapeutic gaming	Gait rehabilitation in children with spastic cerebral palsy
Objectives of the Proposed Device	To generate EMG-based visual biofeedback to improve voluntary muscle control and reduce spasticity	To improve strength coordination control through repeated interaction with sEMG-driven videogames	To review how biosignals are integrated into games for control, adaptation, and therapeutic use	To use an EMG-driven serious game to modify calf muscle activation during walking
Models Used	Direct physiological EMG feature extraction and real-time visual mapping, without machine learning	Direct sEMG-based control using muscle activation levels acquired via a wearable device, without complex gesture classification	Conceptual and technical interaction models for biosignal-driven and adaptive gameplay	Direct EMG-based control with performance-dependent adaptation, no deep learning models
Research Questions	Can EMG-based visual biofeedback improve muscle control and reduce wrist spasticity after stroke?	Can a structured sEMG-controlled videogame training protocol improve upper-limb motor performance in amputees?	How can biosignals be used to control, adapt, and analyze video games?	Can EMG-driven gaming selectively alter muscle activation patterns during gait rehabilitation?
Types of Traces Used	EMG signals from forearm muscles and derived quantitative features	Surface EMG signals from forearm muscles and task-related videogame performance metrics	Multiple biosignals (EMG, EEG, EDA, ECG) and gameplay interaction data	EMG signals from calf muscles, gait parameters, and in-game performance metrics
Evaluation Protocol	Pilot clinical study with pre- and post-biofeedback comparison under controlled conditions	Longitudinal training protocol with 10 sessions over 4 weeks, evaluated using in-game metrics and the Box and Block Test	Review of experimental and commercial systems without direct clinical evaluation	Controlled experimental study comparing gait with and without EMG-based biofeedback
Results Obtained	Improved voluntary muscle control and clearer distinction between spastic and non-spastic contractions	Improved muscle strength, coordination, and control, with a significant correlation between training time and Box and Block Test scores	Demonstrated feasibility and diversity of biosignal-based interaction in games	Increased targeted muscle activation and higher engagement during gait training
Challenges, Limitations, Perspectives	Small sample size, limited to the wrist joint, lack of adaptive feedback mechanisms	Small cohort size, short intervention duration, and lack of control group, motivating larger clinical studies	Signal reliability issues, usability challenges, and ethical considerations	Motion-related EMG noise, inter-subject variability, and need for long-term studies

Références

- [1] A. Zadnia, H. R. Kobravi, M. Sheikh, and H. Asghar Hosseini, “Generating the visual biofeedback signals applicable to reduction of wrist spasticity : A pilot study on stroke patients,” *Basic and Clinical Neuroscience*, vol. 9, no. 1, pp. 15–26, 2018.
- [2] N. A. Hashim, N. A. Abd Razak, H. Gholizadeh, and N. A. Abu Osman, “Video game-based rehabilitation approach for individuals who have undergone upper limb amputation : Case-control study,” *JMIR Serious Games*, vol. 9, no. 1, p. e17017, 2021.
- [3] E. Flux, L. Bar-On, A. I. Buizer, J. Harlaar, and M. M. van der Krogt, “Electromyographic biofeedback-driven gaming to alter calf muscle activation during gait in children with spastic cerebral palsy,” *Gait & Posture*, vol. 102, pp. 10–17, 2023.
- [4] A. Hughes and S. Jorda, “Applications of biological and physiological signals in commercial video gaming and game research : A review,” *Frontiers in Computer Science*, vol. 3, 2021.