



Effet aigu de l'exercice de squat à contrôle volontaire cybernétique assisté par HAL (type de membre) sur la vitesse de service au tennis

Bumpei Sato¹, Shuhei Sato², Hiroki Yamaguchi³, Yoshihiro Yasunaga⁴ y Masayuki Sato⁵

¹Université Meiji, Japon. ²Université Sendai, Japon. ³Université Doshisha, Japon. ⁴Université Tsukuba, Japon.

⁵Université Senshu, Japon.

RÉSUMÉ

Le service au tennis le plus rapide à l'US Open 2022 était de 141 mph (226,9 km/h, Alexander Bublik, KAZ) et de 128 mph (205,9 km/h, Coco Gauff, USA) pour les hommes et les femmes, respectivement. Cette vitesse devrait augmenter à l'avenir. La plupart des études portant sur l'amélioration des performances au service ont été menées dans les domaines de la biomécanique sportive et de la physiologie de l'exercice. Il n'existe aucune étude portant sur le contrôle volontaire du cerveau, de la moelle épinière, des nerfs moteurs, du système musculo-squelettique et des performances au service. Récemment, un cyborg portable, Hybrid Assistive Limb (HAL), a été utilisé comme dispositif de rééducation chez des patients victimes d'un accident vasculaire cérébral, d'une paralysie cérébrale ou d'une lésion de la moelle épinière. Nous avons cherché à déterminer l'effet aigu des exercices de squat à contrôle volontaire cybernétique effectués à l'aide du HAL sur la vitesse du service. Quatre entraîneurs de tennis ayant une grande expérience de l'enseignement (âge moyen : $32,5 \pm 0,6$ ans, expérience de l'enseignement : $10,5 \pm 0,6$ ans) ont été inclus dans l'étude. Les résultats ont montré une augmentation d'environ 7 % de la vitesse de service après l'accroupissement assisté par HAL. Cette augmentation a été attribuée au biofeedback interactif entre le HAL et les participants, ce qui peut avoir produit un effet immédiat. L'utilisation du HAL pourrait maximiser les fonctions physiques des joueurs de tennis et guider les exercices de rééducation post-blessure.

Mots-clés : Apprentissage moteur, rééducation, biofeedback interactif

Reçu : 24 Février 2023

Accepté : 14 Mai 2023

Correspondance : Bumpei Sato.
Email: bsato@meiji.ac.jp

INTRODUCTION

Le service de tennis le plus rapide à l'US Open 2022 était de 141 mph (226,9 km/h ; Alexander Bublik, KAZ) et de 128 mph (205,9 km/h ; Coco Gauff, USA) chez les hommes et les femmes, respectivement. Cette vitesse devrait continuer à augmenter à l'avenir (tableaux 1 et 2) (USTA, 2022).

Jusqu'à présent, la plupart des études sur l'amélioration des performances au service ont été réalisées dans les domaines de la biomécanique sportive et de la physiologie de l'exercice. Aucune étude n'a porté sur la voie volontaire cerveau → moelle épinière → nerf moteur → système musculo-squelettique dans le domaine des neurosciences. Récemment, l'Hybrid Assistive Limb (HAL) (Kawamoto et al., 2010), un cyborg portable développé par Sankai et al. (2014), a été utilisé et est efficace comme dispositif de rééducation chez les patients atteints d'AVC, de paralysie cérébrale et de lésions de la moelle épinière (Nakajima, 2011). Yasunaga et al. (2022) ont évalué les changements immédiats au niveau de la lombalgie et de la flexibilité de la hanche ainsi que les événements indésirables après une thérapie physique par biofeedback utilisant le HAL ; ils ont rapporté des changements positifs significatifs. Cependant, l'utilisation potentielle du HAL dans le domaine

du sport reste inconnue. En outre, il est nécessaire de vérifier son utilité pour améliorer les performances et guider les exercices. Nous avons cherché à déterminer l'effet des exercices de squat à contrôle volontaire cybernétique (CVC) utilisant HAL sur la vitesse de service.

Tableau 1

Classement 2022 de l'US Open Tennis des services les plus rapides chez les hommes (USTA, 2022).

Les services les plus rapides de l'US Open 2022 MEN			
Rang	Correspondances	Joueur	Vitesse de service la plus rapide
1	2	A. Bublik	141 mph
2	3	T. Paul	139 mph
2	1	B. Shelton	139 mph
4	2	B. Van de Zandschulp	138 mph
4	5	F. Tiafoe	138 mph
4	1	J. Sock	138 mph
4	5	M. Berrettini	138 mph

8	5	N. Kyrgios	136 mph
8	2	G. Dimitrov	136 mph
8	1	F. Verdasco	136 mph
8	1	J. Munar	136 mph
8	2	J. Thompson	136 mph
8	3	J. Draper	136 mph
8	2	A. Popyrin	136 mph

Tableau 2

Classement de l'US Open de tennis 2022 des services les plus rapides chez les femmes (USTA, 2022).

Les services les plus rapides de l'US Open 2022 FEMMES			
Rang	Correspondances	Joueur	Vitesse de service la plus rapide
1	5	C. Gauff	128 mph
2	4	L. Samsonova	123 mph
3	2	B. Haddad Maia	120 mph
3	3	P. Martić	120 mph
5	3	S. Williams	119 mph
5	3	X. Wang	119 mph
7	3	M. Keys	118 mph
7	1	V. Williams	118 mph
7	5	C. Garcia	118 mph
7	1	O. Dodin	118 mph

Tableau 3

Caractéristiques physiques et historique de l'enseignement des participants.

	Âge (années)	Hauteur (cm)	Poids corporel (kg)	IMC	Expérience de l'enseignement (années)
Sujet A	32	165	64.4	23.5	10
Sujet B	32	173	70.2	23.4	10
Objet C	33	179	73.5	22.8	11
Sujet D	33	176	75	24.2	11
Moyenne ±SDs	32.5 ± 0.6	173.25 ± 6.0	70.8 ± 4.7	23.5 ± 0.6	10.5 ± 0.6

MÉTHODES ET PROCÉDURES

Thèmes

Quatre entraîneurs de tennis expérimentés (âge moyen : 32,5 ± 0,6 ans), avec une expérience d'enseignement de 10,5 ± 0,6 ans, ont été inclus dans l'étude. Les caractéristiques physiques et les antécédents d'enseignement des participants sont présentés dans le tableau 3. Ces entraîneurs ont été sélectionnés pour l'étude parce que la courbe d'apprentissage de leurs compétences au service avait déjà atteint un plateau.

Procédure

Avant l'expérience, un entretien semi-structuré a été mené pour connaître les antécédents de l'entraîneur (par exemple, les blessures). Par la suite, un temps d'échauffement suffisant a été accordé avant de procéder à l'expérience. Les vitesses de service et les points de frappe ont été mesurés à l'aide d'un capteur de tennis HEAD (États-Unis) fixé à une raquette spéciale. Keaney & Reid (2018) ont confirmé que le volume et l'intensité des coups capturés par les capteurs HEAD Tennis Sensor sont aussi fiables et valides que ceux capturés par les systèmes de capture de mouvement. La balle de tennis DUNLOP Fort a été utilisée (DUNLOP). On a demandé aux participants de frapper 10 services à plat aussi fort que possible vers une cible placée devant eux. Après chaque expérience, une période de repos suffisante a été accordée pour éviter que la courbe d'apprentissage ne soit affectée.



Figure 1. Capteur d'analyse de mouvement monté sur une raquette de tennis (HEAD Tennis Sensor ; ZEPP).

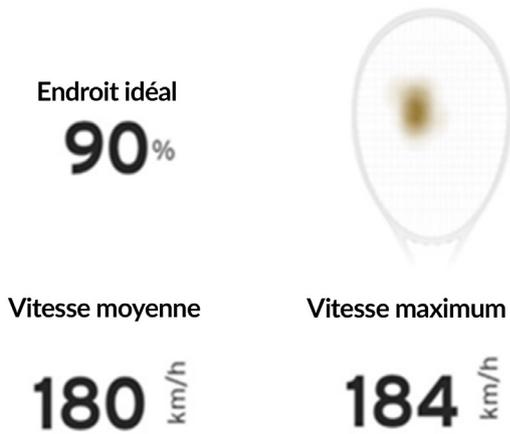


Figure 2. Vitesses moyenne et maximale de la balle et points de frappe calculés à l'aide du HEAD Tennis Sensor.

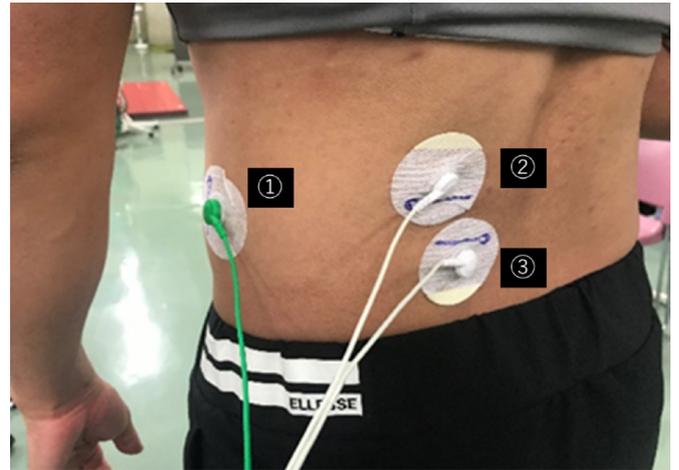


Figure 4. Position des électrodes sur le dos. 1 : Sur le sol. 2 & 3 : muscle Erector spinae.

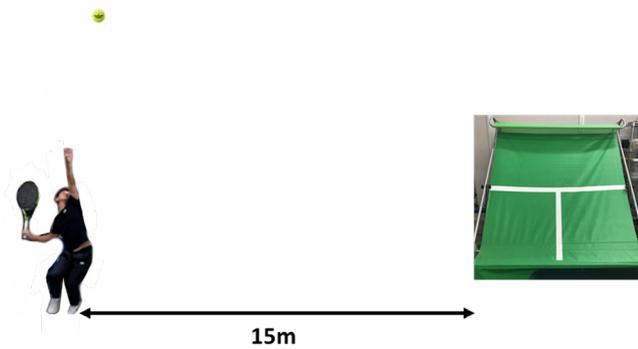


Figure 3. Dispositif expérimental.



Figure 5. Exercice d'accroupissement du CVC avec le Hybrid Assistive Limb®.

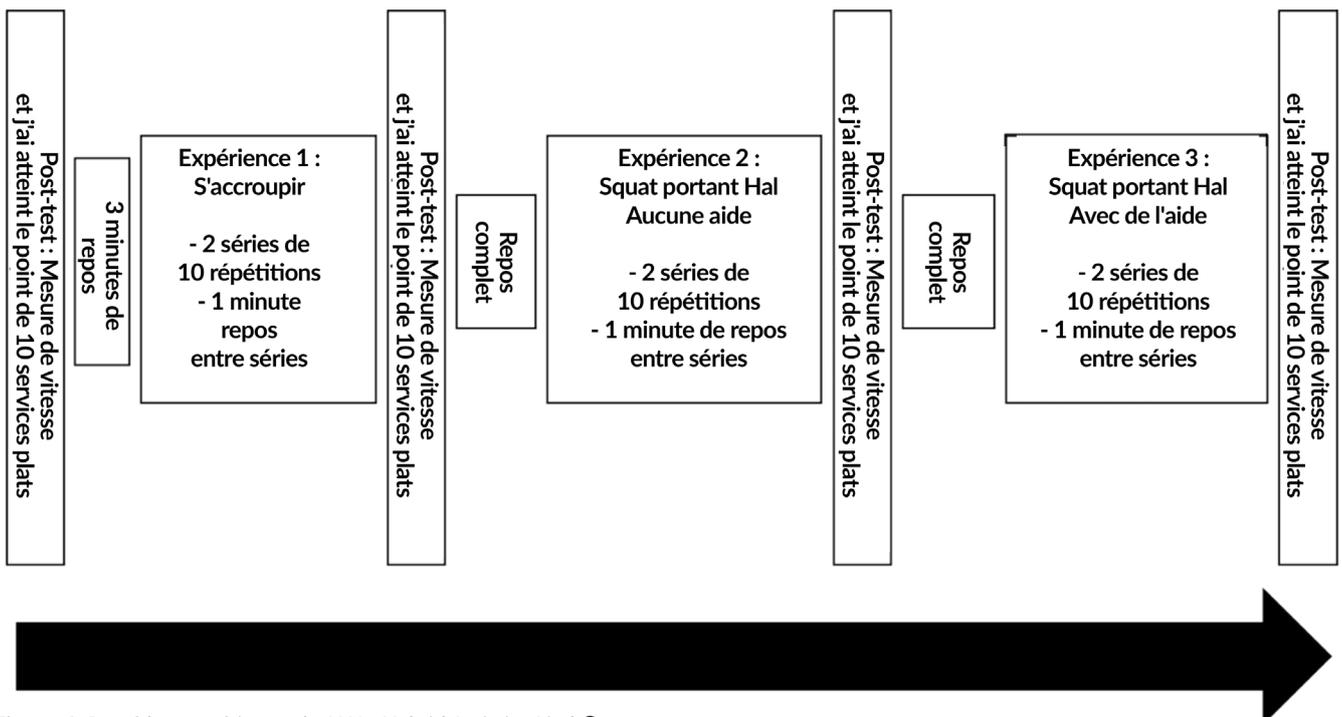


Figure 6. Procédure expérimentale. HAL : Hybrid Assistive Limb®.

ANALYSE STATISTIQUE

Les vitesses de service après (1) squat, (2) squat avec HAL et (3) squat avec HAL en mode CVC ont été comparées à la vitesse de service pré-expérimentale (comparaisons entre deux groupes). Le test du rang signé de Wilcoxon a été utilisé pour la comparaison. SPSS (version 28.0 ; IBM Japan, Tokyo, Japon) a été utilisé pour toutes les analyses statistiques. La signification statistique a été fixée à $p < 0,05$.

CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'université Meiji (n° 557 ; [date d'approbation]). Les participants ont reçu des informations écrites et orales sur l'objectif et le contenu de l'étude. Il leur a été expliqué que les résultats ne seraient pas utilisés à d'autres fins que celles de l'étude et que la participation était volontaire. En outre, il a été expliqué qu'il n'y aurait aucun inconvénient à ne pas participer à cette étude. Enfin, les participants pouvaient quitter l'étude en cours.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La vitesse moyenne de service des quatre participants était de $166,9 \pm 12,3$ km/h, $170,1 \pm 12,4$ km/h, $171,9 \pm 11,6$ km/h et $179,1 \pm 7,0$ km/h respectivement dans les conditions pré-test, accroupissement avec le poids du corps, accroupissement sans assistance HAL et accroupissement avec assistance HAL (mode CVC). La vitesse a augmenté de manière significative dans toutes les conditions de test par rapport aux valeurs du pré-test (expérience 1 : $p = 0,003$, expérience 2 : $p < 0,001$, expérience 3 : $p < 0,001$).

L'augmentation de la vitesse a été de 2 %, 3 % et 7 % dans les conditions suivantes : accroupissement avec le poids du corps, accroupissement sans assistance HAL et accroupissement avec assistance HAL (mode CVC), respectivement (figure 7).

Kovacs & Ellenbecker (2011a) ont classé les services en huit phases du début à la fin : (A) initiation, (B) relâchement, (C) chargement, (D) armement, (E) accélération, (F) impact, (G) décélération, et (H) finition. La phase de mise en charge est importante car l'entraînement des membres inférieurs génère une grande force de réaction au sol. L'importance de l'entraînement des jambes dans le transfert efficace de la puissance des membres inférieurs pour augmenter la vitesse du service a été testée à l'aide de diverses méthodes, y compris les techniques d'appui sur les membres inférieurs. Leurs inconvénients et leurs avantages ont également été rapportés par plusieurs entraîneurs et chercheurs (Bahamonde & Knudson, 2001 ; Elliott & Wood, 1983 ; Martin et al. 2012). La vitesse du service est liée à la force musculaire exercée par une poussée des jambes pendant la phase de charge (Bahamonde, 1997). De plus, les joueurs d'élite exercent une plus grande force horizontale et utilisent le mouvement de poussée du corps pour créer une série de mouvements d'arrière en avant afin de frapper un service rapide (Girard et al., 2005). Les squats et les fentes avant et latérales utilisant le poids du corps sont des exercices efficaces, et les exercices effectués sur une planche d'équilibre instable améliorent la performance au service (Kovacs & Ellenbecker, 2011b).

Le HAL peut détecter les faibles "signaux de potentiel bioélectrique" générés par la surface du corps d'un individu à l'aide de capteurs et peut aider à l'activité musculaire. Le couple moteur généré par les signaux biopotentiels des muscles erector spinae du porteur est transmis au tronc et

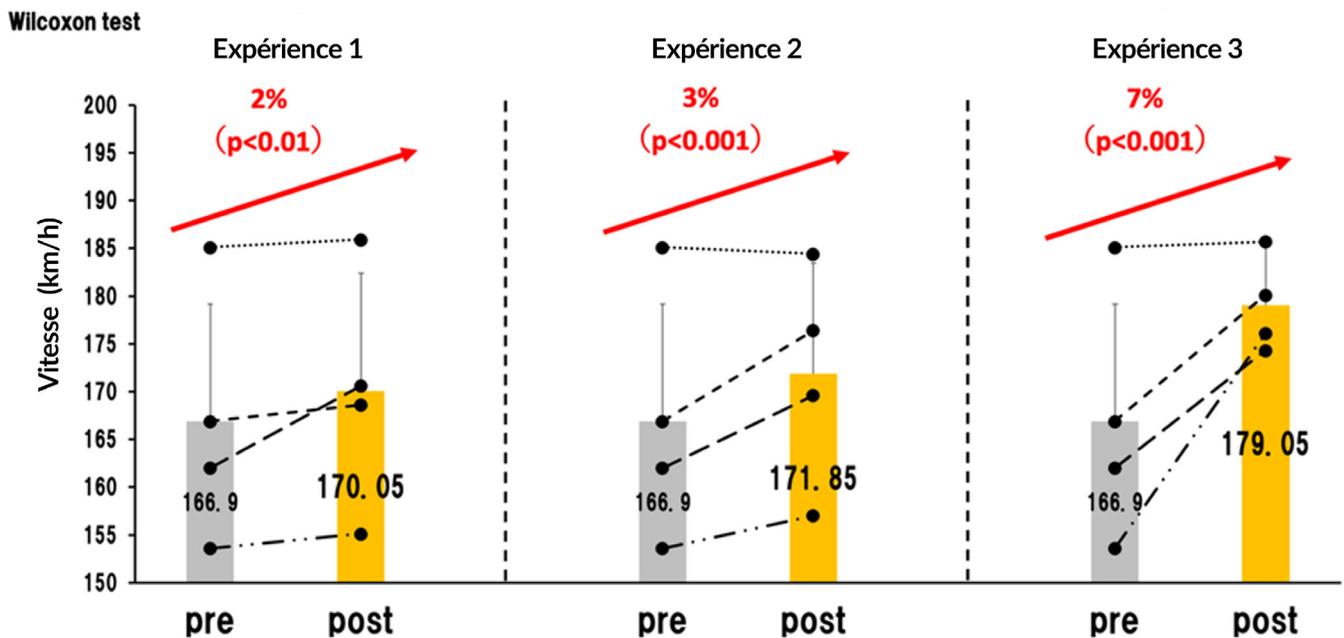


Figure 7. Variation de la vitesse de service entre le pré-test et le post-test.

aux membres inférieurs via les deux ceintures fixes (Abe et al., 2018). Par la suite, le cerveau et le système nerveux (cerveau → moelle épinière → nerfs moteurs → système musculo-squelettique → HAL → système musculo-squelettique) et le bio-feedback interactif entre le cerveau/système nerveux, le corps et HAL (cerveau → moelle épinière → nerfs moteurs → système musculo-squelettique → HAL → système musculo-squelettique) renforcent et ajustent les interconnexions et améliorent sa fonction (Grüneberg et al, 2018 ; Nakajima et al., 2021 ; Sankai, 2014 ; Sankai & Sakurai, 2018).

L'accroupissement avec HAL est un exercice de CVC qui fournit une assistance volontaire basée sur des signaux bioélectriques, ce qui constitue une évolution par rapport à l'accroupissement basé sur le poids du corps couramment pratiqué. L'accroupissement assisté par HAL stimule et mobilise les muscles et les nerfs des membres inférieurs qui n'ont pas été utilisés jusqu'à présent, ce qui permet d'établir un apprentissage interactif efficace par biofeedback et éventuellement d'augmenter la vitesse de service.

Limites et recherches futures

Étant donné que cette étude a utilisé un dispositif expérimental spécial (HAL), seuls quatre participants ont été inclus dans l'étude. De futures études avec un échantillon plus important et d'autres méthodes, telles que la mise en place de groupes pour les mesures, seront nécessaires. En outre, l'entraînement des jambes, qui est considéré comme un facteur majeur dans l'augmentation de la vitesse du service, n'a pas été analysé dans cette expérience utilisant des plaques de force et un appareil d'analyse du mouvement tridimensionnel. Nous aimerions réaliser d'autres études prenant en compte ces facteurs.

CONCLUSION

Cette étude visait à déterminer les effets des exercices de squat CVC assistés par HAL sur la vitesse du service. Nous avons constaté une augmentation de la vitesse de 2 %, 3 % et 7 % dans les conditions d'accroupissement basé sur le poids du corps, d'accroupissement sans assistance HAL et d'accroupissement avec assistance HAL (mode CVC), respectivement. L'utilisation de HAL pourrait aider les joueurs de tennis à reconnaître et à utiliser leurs capacités physiques et leurs fonctions motrices latentes. En outre, elle pourrait maximiser leurs fonctions physiques et les guider pendant la rééducation post-blessure.

CONFLIT D'INTÉRÊTS ET FINANCEMENT

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêt et qu'ils n'ont reçu aucun financement pour mener à bien cette recherche.

RÉFÉRENCES

- Abe, T., Miura, K., Kadone, H. (2018) Effect of lumbar load reduction using the lumbar-type Hybrid Assistive Limb (HAL). *JOURNAL OF JOINT SURGERY*, 37(5), 537-545 <https://doi.org/10.18885/J00282.2018235811>
- Bahamonde, R.E. (1997) Joint power production during flat and slice tennis serves ISBS-Conference Proceedings Archive
- Bahamonde, R.E. & Knudson, D. (2001) Ground reaction forces of two types of stances and tennis serves. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(5), S102
- Elliott, B.C. & Wood, G.A. (1983) The biomechanics of the foot-up and foot-back tennis service techniques. *Aust J Sports Sci*, 3(2), 3-6
- Girard, O., Micallef, J.P., & Millet, G.P. (2005) Lower-limb activity during the power serve in tennis: effects of performance level. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(6), 1021-1029
- Grüneberg, P., Kadone, H., Kuramoto, N., Ueno, T., Hada, Y., Yamazaki, M., Sankai, Y., & Suzuki, K. (2018) Robot-assisted voluntary initiation reduces control-related difficulties of initiating joint movement: A phenomonal questionnaire study on shaping and compensation of forward gait. *PLoS one*, 13(3), e0194214
- Kawamoto, H., Taal, S., Niniss, H., Hayashi, T., Kamibayashi, K., Eguchi, K., & Sankai, Y. (2010) Voluntary motion support control of Robot Suit HAL triggered by bioelectrical signal for hemiplegia 2010 Annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology; IEEE, pp. 462-466
- Keaney, M.E. & Reid, M. (2018) Quantifying hitting activity in tennis with racket sensors: new dawn or false dawn?. *Sports Biomechanics*, 19(6), 831-839. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1535619>
- Kovacs, M.S. & Ellenbecker, T.S. (2011a) An 8-stage model for evaluating the tennis serve: implications for performance enhancement and injury prevention. *Sports Health*, 3(6), 504-513. <https://doi.org/10.1177/1941738111414175>
- Kovacs, M.S. & Ellenbecker, T.S. (2011b) A performance evaluation of the tennis serve: implications for strength, speed, power, and flexibility training. *Strength & Conditioning Journal*, 33(4), 22-30
- Martin, C., Bideau, B., Nicolas, G., DelaMarse, P., & Kulpa, R. (2012) How does the tennis serve technique influence the serve-and-volley? *Journal of sports sciences*, 30(11), 1149-1156
- Nakajima, T., Sankai, Y., Takata, S., Kobayashi, Y., Ando, Y., Nakagawa, M., Saito, T., Saito, K., Ishida, C., & Tamaoka, A. (2021) Cybernetic treatment with wearable cyborg Hybrid Assistive Limb (HAL) improves ambulatory function in patients with slowly progressive rare neuromuscular diseases: a multicentre, randomised, controlled crossover trial for efficacy and safety (NCY-3001). *Orphanet journal of rare diseases*, 16(1), 1-18
- Nakajima, T. (2011) Clinical trial of robot suit HAL technology for neuromuscular intracTableau rare diseases. *Journal of the National Institute of Public Health*, 60, 130-137
- Sankai, Y. (2014) *Cybernetics: fusion of human, machine and information systems*; Springer
- Sankai, Y. & Sakurai, T. (2018) Exoskeletal cyborg-type robot. *Science Robotics*, 3(17), eaat3912
- USTA (2022) Event Statistics Fastest Serve Speed. https://www.usopen.org/en_US/scores/extrastats/index.html?promo=subnav (Accessed 0101, 2023)
- Yasunaga, Y., Koizumi, R., Toyoda, T., Koda, M., Mamizuka, N., Sankai, Y., Yamazaki, M., & Miura, K. (2022) Biofeedback Physical Therapy With the Hybrid Assistive Limb (HAL) Lumbar Type for Chronic Low Back Pain: A Pilot Study. *Cureus*, 14(3)

Copyright © 2023 Bumpei Sato, Shuhei Sato, Hiroki Yamaguchi, Yoshihiro Yasunaga et Masayuki Sato



Ce texte est protégé par une licence [Creative Commons BY 4.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vous êtes autorisé à partager, copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats et adapter le document, remixer, transformer et créer à partir du matériel pour toute utilisation y compris commerciale, tant qu'il remplit la condition de :

Attribution : Vous devez correctement créditer l'œuvre originale, fournir un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été apportées. Vous pouvez le faire de toute manière raisonnable, mais pas d'une manière qui suggère que vous avez l'approbation du concédant de licence ou que vous la recevez pour votre utilisation du travail.

[CC BY 4.0 license terms summary](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). [CC BY 4.0 license terms](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[SÉLECTION DE CONTENU DU SITE ITF ACADEMY \(CLIQUEZ\)](#)

