



La comparaison de l'évolution de la performance du service d'un joueur de tennis japonais de haut niveau entre deux saisons

Bumpei Sato¹, Hiroki Yamaguchi², Shuhei Sato³ et Jin Eshita⁴

¹Meiji University, Japon. ²Doshisha University, Japon. ³Sendai University, Japon. ⁴Aoyamagakuin High School, Japon.

RÉSUMÉ

Cette étude a cherché à déterminer l'impact des changements dans la performance du service (relation entre la vitesse, le taux de rotation, la reproductibilité et la hauteur d'impact) sur les classements mondiaux pour un joueur de tennis japonais de haut niveau en 2017, lorsqu'il est devenu le champion étudiant All Japan, et en 2022, lorsqu'il a représenté le Japon en Coupe Davis et a remporté le tournoi ITF (M25 MONASTIR 10 Jan - 16 Jan 2022). Cette étude clarifie l'impact des changements dans la performance du service sur les classements mondiaux en 2022. Les résultats ont montré que, parmi les trois types de services (plat, slice et lifté), il y avait des valeurs plus élevées pour le slice et le lifté en 2022 par rapport à 2017. Des valeurs de vitesse de balle plus élevées ont été trouvées pour le plat en 2022 et des valeurs plus faibles pour le slice et le lifté en 2017. En 2022, toutes les hauteurs de service étaient plus élevées, ce qui a entraîné une augmentation du taux de réussite du plat, dont la reproductibilité était la plus faible. Ces résultats suggèrent que la mesure longitudinale et l'évaluation de la relation entre la vitesse, le taux de rotation, la reproductibilité et la hauteur d'impact lors du service sont importantes pour améliorer les performances en compétition.

Mots-clés : hauteur d'impact, vitesse de la balle, nombre de rotations, reproductibilité.

Article reçu : 25 June 2022

Article accepté : 29 Juillet 2022

Auteur correspondant : Bumpei Sato. Email: bsato@meiji.ac.jp

INTRODUCTION

Au tennis, le service est la seule compétence qui permet à un joueur d'initier le jeu à sa propre discrétion. (Chow et al., 2003 ; Fitzpatrick et al., 2019 ; Gillet et al., 2009 ; Kovacs & Ellenbecker, 2011 ; Roetert et al., 2009). Il s'agit d'une compétence importante qui peut déterminer le résultat d'un match. On a constaté que la performance du service au tennis est grandement influencée par la raquette (matériau du cadre et tension du cordage), le niveau de compétition du joueur (Sato & Funato, 2020) et la composition corporelle. (Brody, 1987 ; Colomar et al., 2022 ; Trabert & Hook, 1984). Il est habituel que les études sur les serveurs prennent en compte le type de service (plat, slice et lifté) que le joueur tente d'exécuter. Selon Sato (2021b), le service à plat est un coup offensif avec une vitesse élevée et une faible vitesse de rotation. Le slice tourne dans la direction latérale, ce qui incite le receveur à être poussé hors du terrain après le rebond. Le kick, également connu sous le nom de service lifté, a la caractéristique de rebondir haut car il s'agit d'un service à rotation supérieure. La rotation de la balle provoque un changement important après le rebond, ce qui peut entraîner une erreur dans la technique de réception de l'adversaire. L'effet est donc un facteur important dans l'évaluation de la performance du service. Les études sur les services de tennis ont également tendance à utiliser des pistolets de vitesse et des caméras à haute vitesse pour analyser la vitesse de la balle. (Chow et al., 2003 ; Elliott et al., 2003). Cependant, il est connu que le comportement produit

par chacun des trois types de service est différent (Sakurai et al. 2013), et puisque le changement de direction du rebond qui se produit après l'atterrissage pourrait être influencé par différents comportements parmi les types de service, nous devrions considérer les types de service que le joueur essaie d'exécuter. Dans l'évaluation de la performance du service, en plus de la vitesse de la balle, le taux de rotation de la balle est considéré comme un indicateur important, car le taux de rotation, qui entraîne un changement de trajectoire de la balle, est le facteur qui induit des erreurs dans la prédiction de l'adversaire sur la façon dont la balle va rebondir et donc dans ses compétences de réception.

Ces dernières années, avec le développement de l'appareil TRACKMAN pour mesurer le comportement de la balle, la performance des services est maintenant évaluée et analysée de manière complète en fonction de facteurs tels que le comportement de la balle (vitesse et taux d'effet), le parcours et la reproductibilité, et ces données peuvent être utilisées par les entraîneurs pour le feedback (Murata & Takahashi, 2020 ; Sato et al., 2017 ; Murakami et al., 2016). Suite à l'application de ces instruments expérimentaux, il a été rapporté que les services de haute qualité peuvent être évalués et déterminés en analysant la relation entre la vitesse de la balle et le taux d'effet (Sato, 2021b ; Sato & Funato, 2020 ; Muramatsu et al., 2010 ; Muramatsu et al., 2015 ; Murakami et al., 2016). Sato et Funato (2020) ont tenté de quantifier la relation entre le niveau de compétition des joueurs et la performance

des services en termes de vitesse de service et de taux de rotation. Ils ont analysé les données de manière transversale en comparant la performance du service chez les joueurs de tennis masculins à trois niveaux (c'est-à-dire professionnel, étudiant athlète collégial et athlète junior). Ils ont constaté des différences dans la performance des services au niveau supérieur de chaque catégorie, et la performance a pu être évaluée en quantifiant la vitesse, la vitesse de rotation et le nombre de tentatives nécessaires pour réussir un service. Développant cette recherche et recueillant des données à des niveaux plus larges, Sato (2021b), a rassemblé des données sur la performance des services de joueurs de tennis japonais de haut niveau à différents niveaux (y compris des joueurs professionnels masculins et féminins, des étudiants athlètes, des athlètes juniors et des athlètes en fauteuil roulant) et a mesuré les différences dans la performance des services (vitesse de service, taux de rotation et reproductibilité). L'analyse statistique a montré que les joueurs ayant un niveau de compétition plus élevé avaient tendance à avoir un score plus élevé pour la vitesse et la vitesse de rotation pour chaque type de service (c'est-à-dire que l'indice de performance des joueurs professionnels masculins était situé dans la partie supérieure droite de la courbe approximative obtenue par l'analyse). Ils ont également constaté que, pour la plupart des joueurs, la vitesse du service différait selon le type de service, classé du plus rapide au plus lent : plat, slice, puis kick. Une tendance assez différente a été observée pour le taux d'effet, qui était le plus élevé pour le lifté, le slice et le plus bas pour le plat.) Ils ont également constaté une corrélation négative (ou un compromis) entre la vitesse de service et la vitesse de rotation pour les trois types de service. Les résultats de leur étude étaient conformes à ceux d'études antérieures, comme celle de Muramatsu et al. (2015). Cependant, l'importance de l'étude de Sato (2021b) est qu'ils ont mis en œuvre une méthode expérimentale de collecte de données. Les données analysées dans Muramatsu et al. (2015) étaient un extrait partiel du match réel et ne tenaient pas compte de la négociation stratégique dans le match. Dans un match réel, le 1er service n'est pas toujours frappé avec une balle rapide car les joueurs négocient avec l'adversaire. Dans certains cas, le deuxième service, qui exige un taux de réussite élevé, n'est pas frappé avec une rotation. En ce qui concerne ces questions, leurs études n'étaient pas strictement contrôlées. Si l'on en juge par ces études antérieures, celle de Sato (2021b) est une étude importante qui a fourni de nouvelles preuves de la relation entre le niveau de compétition des joueurs, la vitesse du service et le taux de rotation. À partir de ces études, Sato (2021b) a mis au point le "Tableau d'évaluation de la performance du service", qui mesure quantitativement la vitesse du service, le taux d'effet et le taux de probabilité de réussite en fonction de ces résultats.

Outre la vitesse de la balle et le taux de rotation, la hauteur d'impact du service est également un facteur important pour améliorer la performance du service, et il existe une corrélation entre la hauteur d'impact et la performance du service (Vaverka et Cernosek, 2013). Vaverka et Cernosek (2007) ont constaté que lorsque la hauteur d'impact augmentait de 10 cm par rapport à 2,7 m, qui est le minimum pour toucher la ligne de service avec une balle droite, le point de réception se déplaçait de 25 à 30 cm de la ligne de service vers le filet pour chaque 10 cm. Les joueurs de tennis japonais (dans l'ATP Tour Inc. 2021) ont tendance, en moyenne, à être plus petits que les meilleurs joueurs de tennis du monde. Selon le site Internet de l'ATP Tour, concernant la taille des 10 meilleurs joueurs mondiaux et des 10 meilleurs joueurs japonais classés en 2021, la taille moyenne des meilleurs

joueurs japonais avait tendance à être inférieure d'environ 11 cm à celle des meilleurs joueurs mondiaux. À cet égard, une approche consciente visant à élever le point d'impact plus haut qu'aujourd'hui semble être une tâche essentielle, car cette amélioration conduirait à un taux de réussite plus élevé et à une meilleure qualité du service, ce qui à son tour aiderait les joueurs japonais à prendre l'avantage.

La particularité des études précédentes est que la performance du service a été comparée de manière multidimensionnelle (vitesse, taux d'effet et reproductibilité) entre différents niveaux de compétition afin d'obtenir de riches informations sur la performance estimée du service pour les chercheurs, les entraîneurs et les joueurs eux-mêmes. Disposer d'un indice de ce type sera bénéfique car ils pourront tirer des conclusions sur la performance au service et apprendre à partir d'une source de données objective. Bien que ces études transversales soient bénéfiques dans la mesure où elles permettent de mieux comprendre le niveau de performance des joueurs et la performance au service, elles n'ont pas mesuré la performance au service à différentes étapes de la carrière des joueurs. Des études limitées sur la relation entre la performance au service et la performance en compétition des joueurs ont mesuré, analysé et évalué de manière continue et longitudinale les joueurs de tennis à deux étapes différentes de leur carrière.

Dans cette étude, la performance du service (relation entre la vitesse, le taux de rotation, la reproductibilité et la hauteur d'impact) d'un joueur de tennis japonais de haut niveau A (ci-après, le sujet A) a été évaluée à deux moments : (a) en 2017, lorsqu'il est devenu le champion étudiant du Japon, et (b) en 2022, lorsqu'il est devenu un joueur de tennis professionnel, a représenté le Japon en Coupe Davis et a remporté le tournoi ITF. Cette étude a cherché à clarifier l'impact des changements de performance de service sur le niveau de performance. Ces données, ainsi que celles de Sato et Funato (2020) et de Sato (2021b), apportent des connaissances supplémentaires, avec des données transversales et longitudinales, sur le niveau de compétition des joueurs et la performance au service.

MÉTHODES ET PROCÉDURES

Sujet

Le sujet était un joueur actuel de la Coupe Davis représentant le Japon, le sujet A. Les caractéristiques physiques du sujet A et les changements de classement sont présentés dans le tableau 1. Le sujet A a adopté la technique de posture de type Relais d'appuis du service (FU) pour les membres inférieurs.

Tableau 1

Changement des caractéristiques physiques et du classement des sujets.

Année	2017	2022
Âge (ans)	20	25
Hauteur du corps (cm)	182.2	182.4
Masse corporelle (kg)	76.7	79.5
Classement JTA*	34	12
Classement ATP**	893	397

*Classement JTA : Classement national de la Japan Tennis Association (au moment de la mesure). **Rapport de l'ATP : Classement international de Association of Tennis Professionals (au moment de la mesure).

Procédure

Avant l'expérience, le sujet a eu suffisamment de temps pour frapper trois types de services (plat, slice et lifté) à titre d'échauffement. Nous avons demandé au sujet d'utiliser la raquette à laquelle il était habitué pour les essais expérimentaux. La balle utilisée pour l'expérience était une Dunlop Fort (balle certifiée par la Fédération internationale de tennis (ITF) et par la Japan Tennis Association (JTF), balle de tennis à pression élevée, fabriquée par Dunlop). Le sujet devait frapper des services à plat, des services kick vers le centre (zone T) et des services slicé vers la largeur avec un effort maximal, et les dix services les plus rapides pour chaque type ont été analysés. Chaque service était considéré comme un essai réussi s'il atterrissait dans la zone cible (2 m de long x 1 m de large). La reproductibilité (probabilité du service) a été mesurée à partir du début de l'essai jusqu'à ce que chacun des services atterrisse avec succès dans la zone cible cinq fois.

Matériel de mesure

Nous avons utilisé un TRACKMAN Tennis Rader (TRACKMAN Inc.), un dispositif de mesure qui peut suivre et mesurer le radar Doppler de l'impact au rebond de la balle, pour mesurer la vitesse de la balle et le taux de rotation du service. La précision de TRACKMAN a été examinée par Sato et al. (2017), qui ont comparé la vitesse de la balle et le taux de rotation calculés à partir de TRACKMAN et de Vicon, les résultats montrant une corrélation élevée pour la vitesse et le taux de rotation (vitesse, $r = 0,9969$; taux de rotation, $r = 0,9788$). Pendant la mesure, le centre du TRACKMAN a été placé dans le prolongement de la marque centrale, à 5,26 m derrière la ligne de fond et à 2,65 m de hauteur, de sorte que la portée du radar doppler émis puisse couvrir suffisamment la ligne latérale du court.

Méthodes utilisées pour l'analyse

La vitesse de la balle et le taux de rotation calculés à partir de TRACKMAN ont été analysés statistiquement à l'aide du coefficient de corrélation de rang de Spearman. Nous avons mesuré comment les valeurs de la vitesse, du taux de rotation et de la hauteur d'impact de la performance de service du sujet ont changé de 2017 à 2022 en calculant le taux de changement de ces valeurs.

Considérations éthiques

Cette étude a été approuvée par le Comité d'examen éthique de l'Université Meiji (Approbation n° 557). Le sujet a reçu des informations écrites et verbales concernant l'objectif et le contenu de l'étude. Il a été expliqué que les résultats ne seraient pas utilisés à d'autres fins que celles de cette étude et que la participation à l'expérience était volontaire. En outre, une explication selon laquelle il n'y aurait aucun inconvénient à ne pas participer à cette étude était également incluse. Enfin, le sujet pouvait annuler sa participation même pendant la mesure.

RESULTATS ET DISCUSSION

Vitesse de la Balle et taux de rotation

Des recherches antérieures ont montré qu'il existe une relation de compromis entre la vitesse de la balle et le taux de rotation, les vitesses plus élevées entraînant des taux de rotation plus faibles (Sakurai et al., 2013). Muramatsu

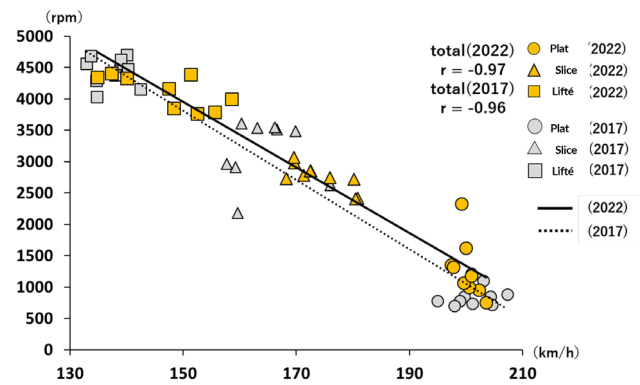


Figure 1. Relation entre la vitesse de la balle et le taux de rotation (2017 vs 2022).

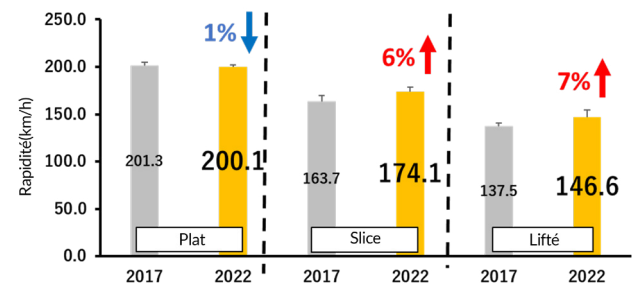


Figure 2. La vitesse (km/h) des services (2017 vs 2022).

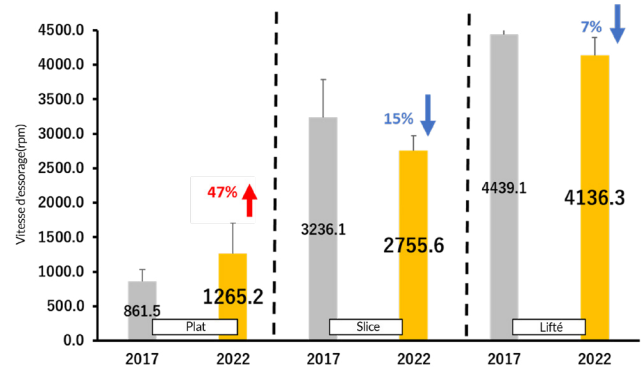


Figure 3. Taux de rotation (rpm) des services (2017 vs 2022).

et al. (2015) ont également constaté que plus le niveau de compétition était élevé, plus la vitesse de service (axe des abscisses) et le taux d'essorage (axe des ordonnées) étaient élevés et se situaient dans la partie supérieure droite de la courbe de la ligne de régression. Certaines études ont affirmé que la même vitesse de balle montre une tendance à un taux d'effet plus important et que le même taux d'effet montre une tendance à une vitesse plus élevée (Murakami et al., 2016 ; Muramatsu et al., 2015 ; Sato & Funato, 2020). Cependant, en se concentrant sur les valeurs du service plat du sujet A en 2017 et 2022, nous avons constaté une augmentation significative de l'indice de rotation (47%), alors que seule une légère diminution de la vitesse (1%), ce qui indique que la vitesse et l'indice de rotation ne suivent pas nécessairement une relation de compromis, ce qui se produit couramment lors de l'évaluation des services (fig. 2, 3). Cette évolution positive peut être un indicateur d'une meilleure performance des services du sujet A (et du service plat en particulier) en 2022 par rapport à 2017. L'augmentation du taux de rotation pour les services plats, dits de type "fastball", affecte le

comportement de la balle en l'air et après son atterrissage dans la zone de service, ce qui rend plus difficile le renvoi de la balle par l'adversaire et contribue à ce que le serveur évolue favorablement dans le jeu. Étant donné que la ligne approximative de 2022 est montée vers l'emplacement supérieur droit par rapport à celle de 2017, on peut supposer que cela indique une amélioration de la qualité des services du sujet A, conformément à Muramatsu et al. (2015) (fig. 1). En outre, lorsque cette valeur a été évaluée à l'aide de la grille de service (échelle à 3 points) créée par Sato (2021a, b), nous pouvons supposer que l'amélioration de la note de 2 à la note de 3 a permis au sujet de cette étude de tirer profit du jeu en ayant une meilleure qualité de service.

Reproductibilité et hauteur d'impact



Figure 4. La hauteur d'impact des services (m) (2017 vs 2022).

La relation entre la vitesse de la balle, le taux d'effet et la reproductibilité est un indicateur important pour évaluer le niveau de compétition (Sato & Funato, 2020 ; Sato, 2021b). En examinant la hauteur d'impact du sujet A en 2022, nous avons constaté qu'elle était plus élevée qu'en 2017 (une augmentation moyenne de 5,6 %) (fig. 4). En outre, pour le service à plat, où le compromis entre vitesse et reproductibilité (Chow et al., 2003) indique généralement une tendance à une reproductibilité plus faible, la reproductibilité s'est améliorée, passant de 10 services requis pour une tentative réussie de la tâche de service en 2017 à 6 services en 2022. Vaverka et Cernosek (2013) ont trouvé une corrélation entre la hauteur d'impact et la performance du service, et Brody et al. (1987) ont déclaré qu'une hauteur d'impact plus élevée augmente la marge d'erreur de l'adversaire. En effet, la probabilité de réussite du premier service (dont on dit qu'il est souvent frappé dans un type de balle rapide) par les deux joueurs classés premier (J.I. : hauteur de corps ; 2,08 m) et deuxième (R.O. : hauteur de corps ; 2,11 m) dans le Serve Rating calculé par l'ATP Tour en 2022 était de 68,8 % pour J.I. et de 65,9 % pour R.O. (ATP Tour, 2022), avec une moyenne de 2,3 à 2,4 doubles fautes par match (soit, un taux de probabilité extrêmement faible). On dit que la hauteur d'impact estimée correspond à environ 150 % de la taille du joueur (Whiteside et al., 2013), et comme la hauteur d'impact de J.I., le serveur numéro 1 mondial, est estimée à 3,16 m, la marge d'erreur est extrêmement élevée.

On peut en déduire qu'une augmentation du poids corporel (+2,8 kg) a entraîné une amélioration de la performance physique globale, bien qu'il n'y ait pas eu d'augmentation de la taille entre les deux points de mesure. L'entraînement de la jambe pendant la phase de chargement (ci-après appelé entraînement de la jambe) a entraîné une grande force de réaction au sol (FRS ; Elliott & Wood, 1983). Cette grande force de réaction au sol peut avoir renforcé le mouvement reliant la flexion du genou au saut, entraînant une hauteur d'impact plus élevée qu'en 2017. L'utilisation par le sujet A

de FU dans la technique d'appui sur les membres inférieurs est une autre technique importante pour améliorer les performances de service chez les joueurs japonais (Konishi et al., 1997), qui sont généralement relativement petits. Il a été suggéré que FU tend à augmenter la FRG verticale pendant la phase de charge et peut augmenter la hauteur d'impact (Elliott & Wood, 1983). Il s'agirait d'un processus essentiel à inclure lorsque le changement de la hauteur d'impact est utilisé comme indicateur d'évaluation, conformément à Sato (2021b) et à Sato et Funato (2020), et il pourrait être une raison de l'amélioration du niveau de compétition du sujet A (c'est-à-dire de son classement mondial). L'augmentation de la hauteur d'impact est un facteur important (Bartlett et al., 1995) pour produire une vitesse de balle et une performance de service plus élevées. La façon dont le joueur utilise la chaîne d'énergie mécanique pour frapper la balle avec la raquette est un facteur important pour la vitesse et l'effet du service. Comme nous l'avons mentionné, la hauteur d'impact minimale pour qu'une balle droite atterrisse sur la ligne de service est de 2,7 m (Brody, 1987 ; Chow et al., 2003 ; Trabert & Hook, 1984), et augmenter la hauteur d'impact de 10 cm rapproche le point d'impact de 25 à 30 cm du filet à partir de la ligne de service (Vaverka & Cernosek, 2007). Pour les joueurs de tennis japonais, l'approche de la hauteur d'impact est une question essentielle pour l'amélioration des performances. La taille moyenne des joueurs de tennis de haut niveau dans le monde (classement ATP 1-10) est nettement supérieure à celle des joueurs de tennis japonais de haut niveau (classement JTA 1-10) (ATP Tour, 2021). Selon Whiteside et al. (2013), la hauteur d'impact estimée en 2017 et 2022 pour le sujet A peut être estimée à 2,73 m. En ajoutant l'augmentation de la hauteur d'impact (5,6%) obtenue dans cette étude, la hauteur d'impact aurait été portée à environ 2,87 m. Ces résultats suggèrent que le sujet A s'est consciemment concentré sur la relation entre le filet et la hauteur d'impact, ce qui peut être un facteur de probabilité plus élevée de tentatives réussies (Bartlett et al., 1995), principalement en renforçant les groupes musculaires des membres inférieurs et en améliorant la technique de chargement, ce qui a conduit à un GRF vertical plus élevé qu'en 2017. L'augmentation de la hauteur d'impact peut avoir augmenté la marge d'erreur et contribué à l'amélioration de la reproductibilité des valeurs de service à plat (2017 : 10 balles contre 2022 : 6 balles).

CONCLUSION

La mesure et la quantification longitudinales de la performance du service chez les joueurs de tennis révéleront comment les améliorations de la performance du service affectent la performance compétitive (c'est-à-dire le classement). Cette étude a cherché à clarifier l'impact des changements dans la performance du service sur les classements mondiaux en comparant et en examinant la vitesse, le taux de rotation, la reproductibilité et la hauteur d'impact d'un joueur de tennis japonais de haut niveau en 2017 et 2022. Les résultats sont au nombre de quatre. Premièrement, des valeurs plus élevées ont été observées pour le slice et le lifté en 2022 par rapport à 2017. Deuxièmement, des valeurs plus élevées ont été observées pour la vitesse en 2022 pour le plat et des valeurs plus faibles pour le slice et le lifté par rapport à 2017. Troisièmement, des valeurs plus élevées pour la hauteur d'impact dans les trois types de service ont été observées en 2022 par rapport à 2017. Quatrièmement, une reproductibilité élevée (basée sur le nombre de tentatives nécessaires pour réussir) du service plat, ainsi qu'une augmentation de la vitesse et du taux d'effet, ont été observées en 2022, bien que ce type de service soit fortement influencé par la relation de compromis

entre la vitesse et le taux d'effet. Ces résultats suggèrent que la mesure et l'évaluation longitudinales de la performance des services (vitesse, taux d'effet, répétabilité et hauteur d'impact) sont importantes pour améliorer les performances en compétition.

LIMITES ET ENJEUX FUTURS

Cette étude a examiné la relation entre la performance du service et le classement mondial en se concentrant sur la performance du service d'un joueur de tennis japonais de haut niveau (sujet A) en 2017 et 2022 en termes de quatre variables : vitesse, taux de rotation, reproductibilité et hauteur d'impact. Outre les mesures utilisées dans cette étude, les études futures pourraient également analyser le mouvement, la composition corporelle (longueur et épaisseur des muscles, pourcentage de graisse corporelle, etc.) et le flux d'énergie généré par les membres supérieurs et inférieurs afin de contribuer à l'amélioration des performances sportives.

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 cette recherche.

RÉFÉRENCES

- ATP Tour, I. (2021) ATP RANKINGS. <https://www.atptour.com/en/rankings/singles> (Accessed 10, January, 2021)
- ATP Tour, I. (2022) ATP Stats Leaderboards
- Bartlett, R.M., Filler, J., & Miller, S. (1995) A three-dimensional analysis of the tennis serves of national (British) and county standard male players. *Science and racket sports*, 98-102
- Brody, H. (1987) *Tennis science for tennis players*; University of Pennsylvania Press. <https://doi.org/10.9783/9780812201468>
- Chow, J., Carlton, L., Lim, Y.T., Chae, W.S., Shim, J.H., KUENSTER, A., & Kokubun, K. (2003) Comparing the pre-and post-impact ball and racquet kinematics of elite tennis players' first and second serves: a preliminary study. *Journal of sports sciences*, 21(7), 529-537. <https://doi.org/10.1080/0264041031000101908>
- Colomar, J., Corbi, F., Brich, Q., & Baiget, E. (2022) Determinant Physical Factors of Tennis Serve Velocity: A Brief Review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(8), 1159-1169. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2022-0091>
- 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
- Fitzpatrick, A., Stone, J.A., Choppin, S., & Kelley, J. (2019) Important performance characteristics in elite clay and grass court tennis match-play. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 19(6), 942-952. <https://doi.org/10.1080/24748668.2019.1685804>

- Gillet, E., Leroy, D., Thouvairec, R., & Stein, J.-F. (2009) A notational analysis of elite tennis serve and serve-return strategies on slow surface. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2), 532-539. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181818efe29>
- Konishi, H., Oki, F. & Matsumoto, K. (1997) A Study of Growth in the Height of Children by the International Comparative Method - In the cases of Japan and Switzerland -. *Japan Society of Human Growth and Development Research* (25), 29-33. <https://doi.org/10.5332/hatsuhatsu.1997.29>
- Kovacs, M.S. & Ellenbecker, T.S. (2011) A performance evaluation of the tennis serve: implications for strength, speed, power, and flexibility training. *Strength & Conditioning Journal*, 33(4), 22-30. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318225d59a>
- Murakami, S., Takahashi, H., Muramatsu, T., Sato, B., Sato, M., Koya, N., Kitamura, T., & Maeda, A. (2016) Analyzing the speed and spinning frequency of tennis serves: measurements with an instrument that uses radar technology. *Japan Society of Sports Performance Research*, 8, 361-374
- Muramatsu, T., Ikeda, R., Takahashi, H., Michikami, S., Iwashima, T., & Umabayashi, K. (2010) Ball spin in the serve of the world's top 50 tennis players at an international tournament. *Japan Society of Sports Performance Research*, 2, 220-232
- Muramatsu, T., Takahashi, H., & Umabayashi, K. (2015) Relationship between speed and spin of tennis serve in world-class tennis players. *Japanese journal of tennis sciences*, 23, 1-7
- Murata, M. & Takahashi, H. (2020) Verification of the accuracy and reliability of the TrackMan tennis radar. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 1754337120953005. <https://doi.org/10.1177/1754337120953005>
- Roetert, E.P., Ellenbecker, T.S., & Reid, M. (2009) Biomechanics of the tennis serve: implications for strength training. *Strength & Conditioning Journal*, 31(4), 35-40. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181af65e1>
- Sakurai, S., Reid, M., & Elliott, B.C. (2013) Ball spin in the tennis serve: spin rate and axis of rotation. *Sports Biomech*, 12(1), 23-29. <https://doi.org/10.1080/14763141.2012.671355>
- Sato, B. (2021a) Evaluating the quality of the tennis serve -The relationship between the velocity of the ball and the number of revolutions-. *Strength & conditioning journal*, 28 (8), 4-13
- Sato, B. (2021b) Relationship between ball velocity and spin rate in tennis service for Japanese top athletes by means of doppler radar tracking system.; *Nippon Sport Science University*
- Sato, B. & Funato, K. (2020) A Study on Quantification and Application of Serve Ball Speed and Spin Rate of Each Competition Level in Japanese Male Top Tier Tennis Player : Special Emphasis on Level of Competition and Service Success Rate. *Journal of physical exercise and sports science*, 25(2), 85-92
- Sato, B., Sato, S., Eshita, J., & Funato, K. (2021) Attempt to evaluate serve performance of Japanese top level tennis players using a doppler radar device-Focusing on the ball speed, the spin rate, and the number of trials required to achieve the task. *Human Performance Measurement*, 18, 1-11
- Sato, B., Wakatsuki, R., Kashiwagi, Y., & Funato, K. (2017) Ball velocity and spin at the impact of tennis serves: Reliability of a ball motion measurement instrument (TRACKMAN). *ITF Coaching and Sport Science Review*, 73(25), 24-26. <https://doi.org/10.52383/itfcoaching.v25i73.305>
- Trabert, T. & Hook, J. (1984) *The serve: Key to winning tennis*; Dobb, Mead
- Vaverka, F. & Cernosek, M. (2007) Za'kladni' te'lesne' rozme'ry a tenis [Basic body dimensions and tennis]. Olomouc: Palacky University
- Vaverka, F. & Cernosek, M. (2013) Association between body height and serve speed in elite tennis players. *Sports Biomechanics*, 12(1), 30-37. <https://doi.org/10.1080/14763141.2012.670664>
- Whiteside, D., Elliott, B.C., Lay, B., & Reid, M. (2013) A kinematic comparison of successful and unsuccessful tennis serves across the elite development pathway. *Human Movement Science*, 32(4), 822-835. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.06.003>

Copyright © 2022 Bumei Sato, Hiroki Yamaguchi, Shuhei Sato et Jin Eshita



Ce texte est protégé par une licence [Creative Commons BY 4.0 license](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/).

CONTENU RECOMMANDÉ DE L'ACADEMIE ITF (CLIQUEZ ICI)

