



Diferències per raó de sexe en els determinants físics de la velocitat de servei de tennistes joves d'alt rendiment

Joshua Colomar^{1*} , Francisco Corbi²  i Ernest Baiget³ 

¹ Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya. Centre d'Estudis en Esport i Activitat Física (CEEAF), Vic (Espanya).

² Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), centre de Lleida (Espanya).

³ Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), centre de Barcelona (Espanya).



Citació

Colomar, J., Corbi, F. & Baiget, E. (2024). Sex-Related Differences in Physical Determinants of Young High-Performance Tennis Players' Serve Velocity. *Apunts Educación Física y Deportes*, 157, 58-67. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2024/3\).157.07](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2024/3).157.07)

Resum

Les variables de la corba isomètrica força-temps són directament proporcionals a la velocitat de servei (VS) en el tennis, especialment en períodes curts de temps i moviments específics. Aquesta influència podria variar en funció del sexe. Per aquesta raó, aquest estudi pretenia: a) examinar les diferències entre les variables antropomètriques i de la corba força-temps en joves tennistes d'alt rendiment d'ambdós sexes, i b) analitzar les associacions entre aquestes variables i la VS. Es va demanar a 45 jugadors que executessin dues contraccions isomètriques màximes voluntàries (CIMV) en posicions articulars (rotació interna de l'espatlla [RIE] i extensió de l'espatlla (EE) a 90 graus) que formen part del moviment de servei. Els resultats van indicar valors significativament superiors per als homes en la VS, la taxa màxima de desenvolupament de força (TMDF) en l'EE, l'impuls (IMP) en la RIE de 0 a 150 ms i l'IMP en l'EE de 0 a 150, 200 i 250 ms. Els homes van presentar correlacions significatives entre la VS, la CIMV en la RIE i en l'EE, la TMDF, la TDF en la RIE als 100, 150, 200 i 250 ms i la TDF en l'EE als 50 ms. Les dones van mostrar associacions positives entre la VS, la massa corporal (MC), la CIMV en l'EE, la TDF en la RIE als 30, 100 i 150 ms, l'IMP en la RIE als 150, 200 i 250 ms i l'IMP en l'EE als 150, 200 i 250 ms. La VS dels homes sembla que depèn dels valors màxims de força absoluta i relativa, mentre que la VS de les dones es pot veure afectada en un grau superior per una combinació de més massa corporal, nivells màxims de generació i acumulació de força en intervals de temps curts.

Paraules clau: força, impuls, potència, servei, taxa de desenvolupament de força.

Editat per:

© Generalitat de Catalunya
Departament de la Presidència
Institut Nacional d'Educació
Física de Catalunya (INEFC)

ISSN: 2014-0983

*Correspondència:

Joshua Colomar
joshua.colomar@uvic.cat

Secció:

Preparació física

Idioma de l'original:

Anglès

Rebut:

27 de novembre de 2023

Acceptat:

29 de gener de 2024

Publicat:

1 de juliol de 2024

Coberta:

Boat Zero i Patriot navegant
sota l'esplendor de Barcelona.
© Ugo Fonollá / America's Cup

Introducció

En estudis recents, s'ha demostrat que les variables de la corba isomètrica força-temps que representen la màxima força isomètrica i explosiva són factors clau directament proporcionals a la velocitat de servei (VS) de la pilota (Baiget et al., 2021; Colomar et al., 2022a; Colomar et al., 2022b). Aquests indicadors presenten una estreta relació amb la capacitat de donar més velocitat a la pilota en colpejar-la, especialment en determinades posicions específiques per a cada articulació que formen part de la cadena cinètica del servei. En concret, la capacitat de desenvolupar valors màxims de força (Baiget et al., 2016) i de força en espais de temps curts (< 250 ms) en moviments com ara la rotació interna de l'espatlla (RIE), l'extensió de l'espatlla (EE), la flexió del canell (FC) o la tracció isomètrica a mitja cuixa (TIMC) semblen de gran importància tant en competició (Baiget et al., 2021) com en jugadors joves (Colomar et al., 2022a). Hi ha diverses variables que es poden derivar de la corba força-temps; tanmateix, en essència, un alt nivell de contraccions isomètriques màximes voluntàries (CIMV) en els moviments de RIE i EE influeix positivament en l'acumulació de força i augmenta l'acceleració rotacional del braç durant el balanceig fins a l'impacte, gràcies a la qual cosa millora la VS posterior (Baiget et al., 2016, 2021; Colomar et al., 2022a; Hayes et al., 2018). Així mateix, s'ha demostrat que algunes variables que depenen de l'aplicació de força al llarg del temps, com la taxa de desenvolupament de força (TDF) o l'impuls (IMP), són factors crucials que afecten el valor final de la VS (Colomar et al., 2022b). Tant les fases primeres (< 100 ms) com les tardanes (> 100 ms) des del moment d'inici de la contracció muscular són importants per determinar la velocitat angular assolida pels segments corporals que participen en la cadena cinètica, juntament amb l'acumulació d'un impuls més gran i un moviment final de la raqueta veloç (Baiget et al., 2021; Colomar et al., 2022a).

De la bibliografia es desprèn la importància de la generació de força explosiva tant en jugadors de més edat i experiència com en la població jove (Colomar et al., 2022a). Tot i així, cap estudi no ha comparat la significació d'aquestes variables en homes i dones. En comparar sexes, sorgeixen certes diferències en indicadors físics determinants que influeixen en la VS (Colomar et al., 2022b). Per exemple, l'estatura presenta una estreta relació amb la VS en els dos sexes, si bé aquesta relació és més intensa en els homes ($r = .48 - 0.64$ vs. $.48 - .59$) (Baiget et al., 2022; Fett et al., 2020; Vaverka i Cernosek, 2013), mentre que, en les jugadores, la massa corporal (MC) o l'índex de massa corporal (IMC) tenen més importància com a factors antropomètrics (Colomar et al., 2022a; Fernandez-Fernandez et al., 2019;

Fett et al., 2020; Wong et al., 2014). En aquesta línia, la força muscular, la potència i l'amplitud de moviment (ADM) també han mostrat valors significativament diferents en funció de l'edat dels jugadors (Fett et al., 2020), l'estat maduratiu (Fernandez-Fernandez et al., 2021), el nivell (Colomar et al., 2020) o el sexe (Fernandez-Fernandez et al., 2019). En concret, respecte a les diferències per raó de sexe, els homes sembla que depenen més de qualitats físiques com ara la potència del tren superior (per exemple, llançaments de pilotes medicinals) i la força isomètrica de l'espatlla en determinades posicions de servei, mentre que la VS resultant en les participants femenines sembla que es veu més influïda per les característiques antropomètriques (MC i IMC) (Fernandez-Fernandez et al., 2019). A més, en comparar la cinemàtica de la raqueta i la pilota, malgrat que un gran nombre de variables semblin similars entre jugadores i jugadors professionals, alguns aspectes com ara la menor rotació interna de l'espatlla executada per les dones difereixen entre ambdós sexes (Elliott et al., 2013). Es pot afegir que, des del punt de vista tàctic, les jugadores tendeixen a realitzar més serveis al cos del rival, mentre que els homes apunten amb més freqüència a les cantonades del quadre de servei (Hizan et al., 2015). Aquests resultats reafirmen que la VS és una capacitat multifactorial influïda per diverses característiques i que aquestes varien en gran manera segons la persona analitzada (Colomar et al., 2022b). En aquesta línia, també hi pot haver diferències a l'hora d'analitzar les variables de generació de força explosiva en determinades posicions articulars que formen part de l'acció de servei, la qual cosa dona peu a estudis interessants en aquest sentit que poden oferir als entrenadors informació sobre com plantejar els programes d'entrenament en funció de la població diana. La nostra hipòtesi era que existien diferències per raó de sexe en la TDF, l'IMP i la CIMV, la qual cosa donaria lloc a una VS significativament superior en els homes.

Així doncs, aquest estudi perseguia els objectius següents: a) examinar les diferències entre les variables antropomètriques i de la corba força-temps en joves tennistes d'ambdós sexes, i b) analitzar el grau de correlació entre aquestes variables i la VS en dones i homes.

Metodologia

Participants

Es van presentar voluntaris per a l'estudi 45 tennistes joves (15 dones i 30 homes [Taula 1]) d'alt rendiment (ITN = 2.7 ± 2.1 i 2.9 ± 0.3 , respectivament).

Taula 1
Característiques dels participants i diferències entre grups.

	Homes (n = 30)	Dones (n = 15)	Diferència		
			Valor de p	d de Cohen	%
Edat (anys)	16.1 ± 1.2	15.9 ± 1.5	.675	0.138	1.2
Estatuta (cm)	177 ± 6	169 ± 6	< .001	1.377	5.0
MC (kg)	69.4 ± 5.7	58.9 ± 5.8	< .001	1.832	17.8
IMC	22.1 ± 1.1	20.7 ± 2.1	.011	0.877	6.6
Nivell competitiu (ITN)	2.9 ± 0.3	2.7 ± 2.1	.597	0.174	1.9
Anys d'entrenament previs	8.5 ± 1.6	7.2 ± 1.1	.006	0.942	18.3

Els valors s'expressen en forma de mitjana ± DT. MC = massa corporal; IMC = índex de massa corporal; ITN = nivell competitiu del jugador (de l'anglès *International Tennis Number*).

Els participants van tenir un volum d'entrenament setmanal de 20 h compost per 3 h de pràctica tècnica i tàctica del tennis i 1 h d'entrenament de forma física al dia de dilluns a divendres. El nivell competitiu del jugador (ITN, de l'anglès *International Tennis Number*) es va determinar per consens de tres entrenadors acreditats amb el nivell 3 del Registre Professional de Tennis (RPT), seguint la descripció d'estàndards de l'ITN (ITN, 2019). Quatre participants eren esquerrans, mentre que tots els altres presentaven dominància de l'extremitat dreta. Quant als criteris d'inclusió, s'exigia haver participat durant almenys un any en un programa estructurat de força i condicionament, així com un mínim de cinc anys d'entrenament i competició de tennis. Els criteris d'exclusió van ser qualsevol malaltia d'esquena, extremitats superiors o inferiors o haver estat sotmès a rehabilitació o intervenció quirúrgica en els tres últims mesos. Tots els participants i els seus pares van ser informats de les particularitats de l'estudi i van firmar un formulari d'autorització expressa. En el cas dels participants menors d'edat, van firmar l'acord dels seus tutors legals. L'estudi es va dur a terme seguint els principis ètics per a la recerca biomèdica amb éssers humans establerts a la Declaració de Hèlsinki de l'AMM (2013) i va ser aprovat pel Comitè d'Ètica d'Investigacions Clíniques de l'Administració Esportiva de Catalunya (15/CEICGC/2020).

Materials i instruments. Procediment

Les proves es van dividir en dues sessions realitzades el mateix dia i separades per 10 minuts. Els participants van fer la prova de la variable de la corba força-temps, seguida de l'avaluació de la VS. A causa de l'organització de l'horari acadèmic, els participants no van fer exercici durant almenys 18 h abans que tingués lloc el protocol. Se'ls va indicar que

seguissin amb els mateixos hàbits, així com que evitessin les substàncies excitants i l'exercici intens durant les hores prèvies a les sessions de proves. Tots els mesuraments es van fer al matí, aproximadament entre les 8:00 i les 9:00 h. Els experiments es van dur a terme durant el període de competició de la temporada.

Avaluació de les característiques de força-temps

Es va demanar als participants que executessin dues proves de CIMV per al tren superior consistents en accions musculars en posicions articulars que formen part del balanceig cap endavant en el moviment del servei. Les posicions sotmeses a prova van ser la RIE amb el colze flexionat i l'espatlla abduïda a 90° i l'EE a 90° amb el colze totalment estès. Abans de la prova, i com a escalfament, els participants van fer dos intents submàxims de 3 segons de les posicions seleccionades a aproximadament el 50-75 % de la CIMV, separats per 60 segons (Comfort et al., 2019). Les proves es van dur a terme de manera similar a Baiget et al. (2016) en una màquina Ercolina (empresa Technogym, Cesena, Itàlia). Els participants van seure amb una flexió de maluc de 90° i l'esquena recolzada en un banc i subjectada amb un arnès per evitar el moviment addicional d'altres parts del cos. Només es va registrar l'extremitat dominant. La corba força-temps es va registrar utilitzant un extensòmetre amb mostreig a 80 Hz (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, Espanya). La CIMV i la taxa màxima de desenvolupament de força (TMDF) es van definir com el valor màxim assolit durant els cinc segons. Per la seva part, la CIMV relativa es va calcular dividint el resultat de la CIMV dels 5 segons entre el pes corporal en quilograms dels participants. A més, per a cada assaig es va determinar la força exercida de 0 a 50, 100, 150, 200 i 250 ms de l'inici de la tracció per

obtenir els valors de TDF i IMP (Comfort et al., 2015). La TDF es va calcular amb l'equació següent: $TDF = \Delta\text{Força} / \Delta\text{Temps}$. Els participants van fer dos assajos espaiats per dos minuts de descans entre intents i cinc entre posicions. Les dues posicions es van mesurar a l'atzar i es va prendre la millor puntuació per a l'anàlisi. Les variables de la corba força-temps avaluades van mostrar un nivell acceptable de fiabilitat ($CCI = > 0.753$; $CV = < 20\%$), d'acord amb anteriors estudis similars (Baiget et al., 2021; Colomar et al., 2022a).

Velocitat de servei (VS) de la pilota

La VS es va avaluar en una pista de tennis de terra batuda en condicions de vent estable (< 2 m/s) i utilitzant pilotes de tennis noves (Head ATP Pro, Espanya). Abans de l'avaluació, els participants van fer un escalfament que incloïa exercicis de mobilitat, cinc minuts de piloteig lliure i deu serveis progressius. Cada jugador va executar vuit serveis plans sense oponent (quatre serveis a cada costat de la pista) amb dos minuts de descans entre sèries i deu segons entre serveis. Només es van incloure en l'examen els serveis que van caure en el quadre de servei. La VS es va determinar amb una pistola radar manual (Stalker ATS II, EUA, freqüència: 34.7 GHz [Banda Ka] ± 50 MHz) mitjançant el registre de la velocitat de la pilota després de l'impacte. El radar es va col·locar 2 m per darrere del centre de la línia de referència i a una alçada de 2 m. Es va demanar als jugadors que colpeguessin "al més fort possible dins del quadre de servei" i se'ls va donar ajuda en forma de consells. Per a l'anàlisi, es va utilitzar la velocitat pic mitjana dels serveis vàlids. El mesurament de la VS va mostrar un bon nivell de fiabilitat ($CCI = 0.787$; $CV = 4.4\%$).

Anàlisi de les dades

Les dades descriptives es van presentar com a mitjana \pm desviació típica (DT). La normalitat de les distribucions es va avaluar amb la prova de Shapiro-Wilk ($p < .05$). La reproductibilitat intrasessió es va avaluar amb la mitjana bidireccional dels coeficients de correlació intraclasse (CCI) i el coeficient de variació (CV) mitjà. Les diferències entre els valors mitjans del grup masculí i femení per a la VS, la CIMV absoluta i relativa, la TMDF, la TDF i l'IMP en diferents mares temporals durant una RIE o EE es van avaluar mitjançant una prova *t* amb mostres independents. També es va incloure el canvi percentual absolut com a anàlisi de diferències entre grups. La

magnitud mitjana de les diferències es va quantificar com a mida de l'efecte (ME) i es va interpretar segons els criteris utilitzats per Cohen (1988); < 0.2 = insignificant, $0.2-0.4$ = petita, $0.5-0.7$ = moderada, > 0.7 = gran. En aquest estudi es van fer 31 comparacions planificades amb temps. Per això, es va dur a terme la correcció per a comparacions múltiples amb el mètode d'Holm-Bonferroni (Holm, 1979). Així mateix, es va utilitzar el coeficient de correlació de Pearson per examinar les relacions entre la VS, la CIMV absoluta i relativa, la TMDF, la TDF i l'IMP en diferents moments de contracció en les posicions de RIE i EE en homes i dones. Les correlacions es van classificar com a insignificants ($0-0.1$), petites ($0.1-0.3$), moderades ($0.3-0.5$) grans ($0.5-0.7$), molt grans ($0.7-0.9$), quasi perfectes (0.9) i perfectes (1) (Hopkins et al., 2009). Després d'aquesta anàlisi, vam calcular el coeficient de determinació per avaluar amb més profunditat el poder explicatiu de les relacions observades. El nivell de significació es va fixar en $p < .05$. Totes les anàlisis estadístiques es van fer amb JASP (JASP 0.16.1, Universitat d'Amsterdam, Països Baixos).

Resultats

L'anàlisi de la VS dels homes va donar com a resultat un valor mitjà de 144.2 ± 8.4 km/h, mentre que el de les dones va ser de 124.9 ± 12.6 km/h. Es van trobar diferències significatives en la VS (mitjana: 19.3 km/h; $p = .031$, $ME = 1.9$, canvi percentual = 15.5%) entre nois i noies. Les diferències per raó de sexe de les variables de la corba força-temps s'expressen a la Taula 2 i es representen a les Figures 1 (CIMV en la RIE i en l'EE), 2 (TDF i IMP en la RIE) i 3 (TDF i IMP en l'EE). Es van trobar diferències significatives en favor dels participants masculins en la TMDF en l'EE i l'IMP en la RIE de 0 a 150, així com en l'IMP en l'EE de 0 a 150, de 0 a 200 i de 0 a 250 ms.

A la Taula 3 es resumeixen els coeficients de correlació entre la VS i les variables de la corba isomètrica força-temps dels participants de sexe masculí i femení. En els homes, es van trobar correlacions significatives moderades o grans entre la VS, la CIMV absoluta i relativa en la RIE i en l'EE, la TMDF en la RIE i en l'EE, la TDF en la RIE de 0 a 100, de 0 a 150, de 0 a 200 i de 0 a 250 ms, i la TDF en l'EE de 0 a 50 ms. Quant a les jugadores, es van trobar correlacions positives significatives moderades o grans entre la VS, la MC, la CIMV absoluta i relativa en l'EE, la TDF en la RIE de 0 a 30, de 0 a 100 i de 0 a 150 ms, l'IMP en la RIE als 150, 200 i 250 ms i l'IMP en l'EE als 150, 200 i 250 ms.

Taula 2

Diferències entre homes (n = 30) i dones (n = 15) en la velocitat de servei de la pilota i en la corba força-temps específica per a cada articulació.

Variabls	Diferència mitjana	DT	ME	Descriptor	%
VS (km/h ⁻¹)	19.3*	3	1.9	Gran	15.5
CMV					
CIMV en la RIE (N)	22.8	5.7	0.45	Moderada	23.8
CIMV en l'EE (N)	23.1	0.8	0.45	Moderada	20.5
CIMVR en la RIE (N/kg)	0.21	0.16	0.25	Petita	13.0
CIMVR en l'EE (N/kg)	0.2	0.11	0.22	Petita	10.5
TDF					
T MDF en la RIE (N/s ⁻¹)	349.6	142.6	0.86	Gran	66.1
T MDF en l'EE (N/s ⁻¹)	508.3*	139.3	1.12	Gran	68.3
TDF en la RIE 0-30 ms (N/s ⁻¹)	285.4	179.6	0.67	Moderada	50.2
TDF en la RIE 0-50 ms (N/s ⁻¹)	251.3	171.9	0.67	Moderada	56.2
TDF en la RIE 0-100 ms (N/s ⁻¹)	134.2	98.2	0.61	Moderada	44.4
TDF en la RIE 0-150 ms (N/s ⁻¹)	50	50.5	0.34	Moderada	22.9
TDF en la RIE 0-200 ms (N/s ⁻¹)	23.6	18	0.22	Petita	14.7
TDF en la RIE 0-250 ms (N/s ⁻¹)	33.5	13.8	0.5	Gran	36.3
TDF en l'EE 0-30 ms (N/s ⁻¹)	331.8	163	0.94	Gran	53.7
TDF en l'EE 0-50 ms (N/sv)	290.5	146.1	0.94	Gran	64.7
TDF en l'EE 0-100 ms (N/s ⁻¹)	139.2	94.3	0.57	Gran	42.6
TDF en l'EE 0-150 ms (N/s ⁻¹)	40.2	32	0.22	Petita	16.6
TDF en l'EE 0-200 ms (N/s ⁻¹)	14.3	4.2	0.24	Petita	7.5
TDF en l'EE 0-250 ms (N/s ⁻¹)	26.2	17.1	0.44	Moderada	35.1
IMP					
IMP en la RIE 30 ms (N/s)	0.16	0	0.77	Gran	49.8
IMP en la RIE 50 ms (N/s)	0.52	0.2	0.74	Gran	59.1
IMP en la RIE 100 ms (N/s)	1.47	0.4	0.88	Gran	56.9
IMP en la RIE 150 ms (N/s)	2.66*	0.6	1.16	Gran	50.3
IMP en la RIE 200 ms (N/s)	1.1	0	0.25	Petita	10.4
IMP en la RIE 250 ms (N/s)	1.4	0.2	0.29	Petita	10.6
IMP en l'EE 30 ms (N/s)	0.42	0.1	1.79	Gran	153.1
IMP en l'EE 50 ms (N/s)	0.91	0.3	1.6	Gran	110.1
IMP en l'EE 100 ms (N/s)	2.55	0.8	1.68	Gran	108.6
IMP en l'EE 150 ms (N/s)	3.27*	1.3	1.26	Gran	60.3
IMP en l'EE 200 ms (N/s)	4.73*	1.6	1.28	Gran	48.6
IMP en l'EE 250 ms (N/s)	5.6*	2.3	1.24	Gran	43.3

DT = desviació típica; ME = mida de l'efecte; VS = velocitat de servei; CIMV = contracció isomètrica màxima voluntària; CIMVR = contracció isomètrica màxima voluntària relativa; RIE = rotació interna de l'espatlla; EE = extensió de l'espatlla; T MDF = taxa màxima de desenvolupament de força; TDF = taxa de desenvolupament de força; IMP = impuls. * = $p < .05$

Taula 3

Correlacions per als homes ($n = 30$) i les dones ($n = 15$) entre la velocitat de servei de la pilota i les variables antropomètriques i de la corba força-temps específica per a cada articulació.

Variables	HOMES			DONES		
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i> ²	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i> ²
Dades antropomètriques						
Alçada (cm)	.25	.228	.063	.465	.081	.216
MC (kg)	.3	.145	.090	.636	.011	.404
IMC	.144	.493	.021	.293	.289	.086
CMV						
CIMV en la RIE (N)	.583	.002	.340	.439	.101	.193
CIMV en l'EE (N)	.423	.035	.179	.618	.014	.382
CIMVR en la RIE (N/kg)	.556	.004	.309	.364	.182	.132
CIMVR en l'EE (N/kg)	.413	.04	.171	.521	.046	.271
TDF						
T MDF en la RIE (N/s ⁻¹)	.464	.019	.215	.389	.152	.151
T MDF en l'EE (N/s ⁻¹)	.499	.011	.249	.07	.804	.005
TDF en la RIE 0-30 ms (N/s ⁻¹)	.237	.255	.056	.623	.013	.388
TDF en la RIE 0-50 ms (N/s ⁻¹)	.344	.092	.118	.509	.053	.259
TDF en la RIE 0-100 ms (N/s ⁻¹)	.446	.025	.199	.514	.05	.264
TDF en la RIE 0-150 ms (N/s ⁻¹)	.485	.014	.235	.533	.041	.284
TDF en la RIE 0-200 ms (N/s ⁻¹)	.495	.012	.245	.431	.109	.186
TDF en la RIE 0-250 ms (N/s ⁻¹)	.405	.045	.164	.16	.569	.026
TDF en l'EE 0-30 ms (N/s ⁻¹)	.368	.071	.135	.466	.080	.217
TDF en l'EE 0-50 ms (N/s ⁻¹)	.435	.03	.189	.238	.394	.057
TDF en l'EE 0-100 ms (N/s ⁻¹)	.403	.046	.162	.267	.335	.071
TDF en l'EE 0-150 ms (N/s ⁻¹)	.28	.175	.078	.399	.141	.159
TDF en l'EE 0-200 ms (N/s ⁻¹)	.169	.344	.029	.44	.101	.194
TDF en l'EE 0-250 ms (N/s ⁻¹)	.178	.396	.032	.088	.754	.008
IMP						
IMP en la RIE 30 ms (N/s)	.218	.296	.048	.172	.540	.030
IMP en la RIE 50 ms (N/s)	.116	.581	.013	.337	.219	.114
IMP en la RIE 100 ms (N/s)	.331	.106	.110	.281	.310	.079
IMP en la RIE 150 ms (N/s)	.368	.070	.135	.564	.028	.318
IMP en la RIE 200 ms (N/s)	.284	.169	.081	.581	.023	.338
IMP en la RIE 250 ms (N/s)	.219	.294	.048	.67	.006	.449
IMP en l'EE 30 ms (N/s)	.208	.319	.043	.259	.352	.067
IMP en l'EE 50 ms (N/s)	.211	.312	.045	.211	.451	.045
IMP en l'EE 100 ms (N/s)	.138	.51	.019	.155	.070	.024
IMP en l'EE 150 ms (N/s)	.208	.319	.043	.48	.004	.230
IMP en l'EE 200 ms (N/s)	.384	.058	.147	.702	.006	.493
IMP en l'EE 250 ms (N/s)	.37	.069	.137	.669	.017	.448

VS = velocitat de servei; MC = massa corporal; IMC = índex de massa corporal; CIMV = contracció isomètrica màxima voluntària; CIMVR = contracció isomètrica màxima voluntària relativa; RIE = rotació interna de l'espatlla; EE = extensió de l'espatlla; T MDF = taxa màxima de desenvolupament de força; TDF = taxa de desenvolupament de força; IMP = impuls.

Figura 1
Puntuacions de contracció isomètrica màxima voluntària (CIMV) en homes i dones. * = $p < .05$.

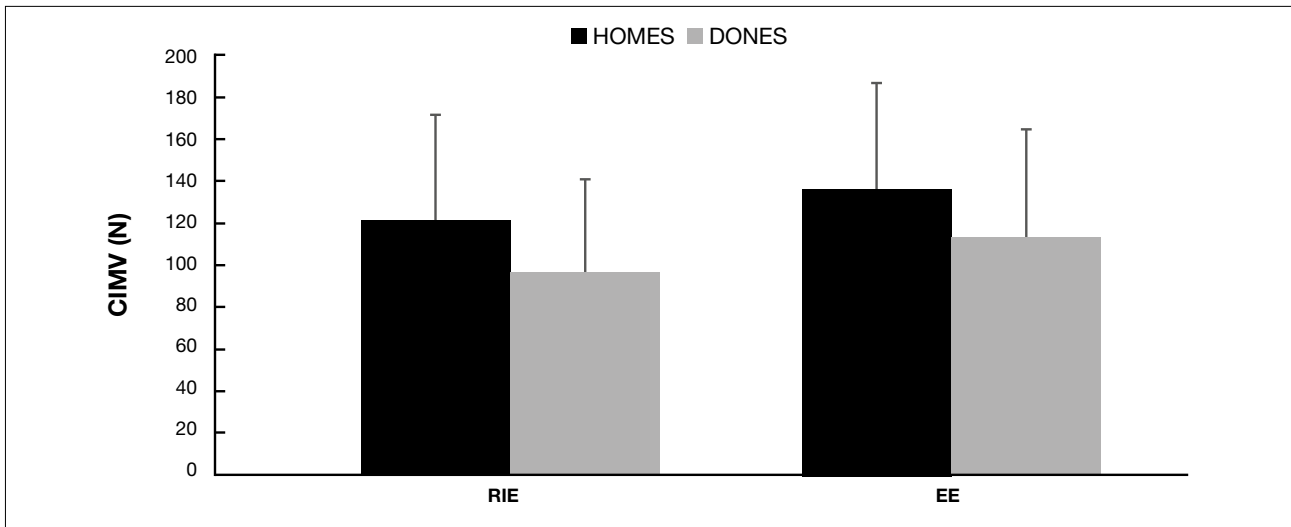


Figura 2
Valors en homes i dones de la taxa de desenvolupament de força (TDF) i l'impuls (IMP) en la rotació interna de l'espatlla (RIE) en diferents intervals de temps. * = $p < .05$.

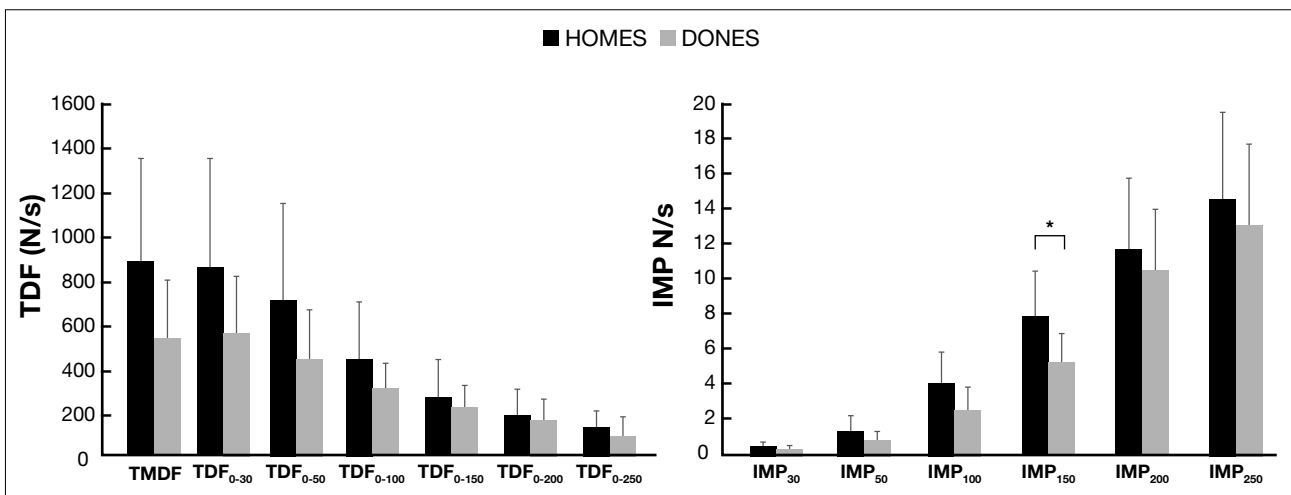
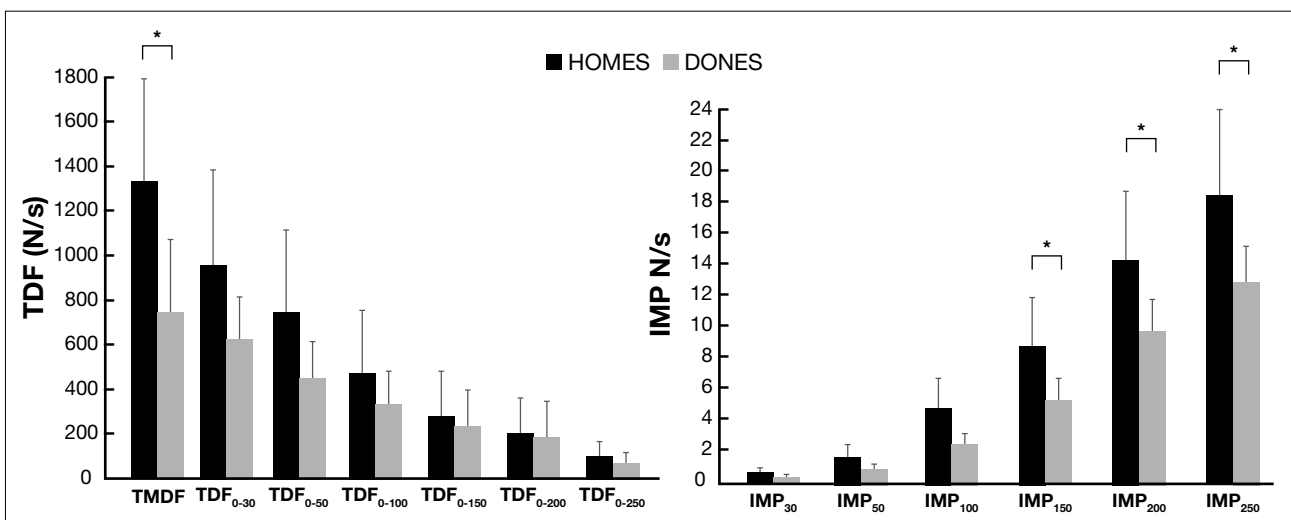


Figura 3
Valors en homes i dones de la taxa de desenvolupament de força (TDF) i l'impuls (IMP) en l'extensió de l'espatlla (EE) en diferents intervals de temps. * = $p < .05$.



Discussió

La principal conclusió del present estudi va ser que hi havia diferències per raó de sexe entre aquests competidors, probablement a causa que els homes van assolir valors més alts en les variables clau de la corba isomètrica força-temps que influeixen en la velocitat final del servei (és a dir, la TMDF i l'IMP en l'EE). A més, la força de les correlacions entre la VS i les variables sotmeses a prova indica que els homes depenen més dels valors de força màxima absoluta i relativa (CIMV, CIMVR [contracció isomètrica màxima voluntària relativa] i TMDF), mentre que la VS de les jugadores sembla que es veu afectada en gran manera per una combinació de característiques antropomètriques (MC), valors de força màxima (CIMV en l'EE) i l'acumulació de força al llarg del temps (IMP).

La VS es veu molt influïda pels valors de força de la corba força-temps quan s'executen accions específiques per a les articulacions presents a la cadena cinètica del servei (Baiget et al., 2016, 2021; Colomar et al., 2022a). Que nosaltres sapiguem, els resultats d'aquest estudi són els primers en examinar les diferències relatives a aquestes variables en joves tennistes d'alt rendiment dels dos sexes. Els resultats de l'anàlisi mostren que els homes expressen més puntuacions en els valors màxims de força explosiva (TMDF) i explosivitat (TDF) en l'EE en el que es consideren primeres fases des del moment d'inici de la contracció muscular (als 150 ms) (Andersen et al., 2010), així com en l'acumulació de força (IMP) en l'EE al llarg del temps, de 0 a 150, 200 i 250 ms. El servei és una acció molt dinàmica que s'executa a gran velocitat en intervals de temps molt curts. El moviment total pot durar uns 650 ms; no obstant, el temps disponible per generar força durant la fase d'activació muscular concèntrica pot ser molt breu, de tan sols 80 ms (Kibler et al., 2007). Per tant, sembla raonable que el fet que els homes siguin capaços de generar valors més alts en algunes variables com ara TMDF, TDF i IMP, especialment en la fase inicial de la contracció, comporti una capacitat més gran d'augmentar l'acceleració del braç en el balanceig fins a l'impacte i el moment angular del cap de la raqueta que influirà positivament en la VS (Baiget et al., 2021). D'altra banda, la TDF i la CIMV absoluta i relativa no van mostrar diferències significatives per raó de sexe. Les primeres fases de la contracció sembla que estan més determinades per aspectes neurals com ara la taxa de descàrrega de les unitats motrius i les propietats intrínseques dels músculs, mentre que la força màxima global podria ser més important en moments posteriors (Andersen et al., 2010; Andersen i Aagaard, 2006). Això explicaria el fet que els valors de TDF no mostressin diferències amb significació estadística en cap moviment o fase, ja que els valors màxims de CIMV en la RIE i en

l'EE no van presentar dissimilituds entre homes i dones. No obstant això, són sorprenents els resultats no significatius en relació amb la CIMV, ja que la bibliografia ha trobat de manera recurrent diferències per raó de sexe en aquesta variable (Cools et al., 2014; Fernandez-Fernandez et al., 2019; Johansson et al., 2022). Tot i que no són significatives, s'observen més puntuacions, mides de l'efecte moderades i canvis percentuals del voltant del 20 % en favor dels homes. Això pot indicar que els nois d'aquesta edat i nivell en concret mostren CIMV força similars a les de les seves companyes, ja que els seus valors de força continuen augmentant al llarg de l'adolescència (Johansson et al., 2022). De fet, els resultats mostren diferències encara inferiors en la CIMVR, la qual cosa concorda amb la bibliografia i indica que les diferències en els valors de força dels practicants d'esports en els quals es colpeja la pilota per sobre del cap podrien desaparèixer quan es normalitzen amb la MC (Cools et al., 2016; Harbo et al., 2012). Un altre aspecte interessant és que els nivells de força isomètrica màxima obtinguts en aquest estudi són específics per a l'angle analitzat (Oranchuk et al., 2019). Això suggereix que els nivells de correlació observats podrien variar en funció de l'angle articular que s'analitzi. Per tant, els resultats d'aquest estudi no s'han d'extrapolar a altres angles o posicions.

Pel que fa a la força de les correlacions entre la VS, les variables antropomètriques i les de la corba força-temps, els homes van mostrar una relació significativa amb tots els valors de força màxima (TMDF i CIMV absoluta i relativa en la RIE i en l'EE), així com en el cas de la TDF en la RIE en temps de contracció superiors a 100 ms, però no amb la resta de mesuraments de la TDF o de l'IMP. D'altra banda, les noies van mostrar resultats significatius en un nombre reduït de variables de força màxima (concretament, la CIMV i la CIMVR en l'EE), però, sobretot, amb la MC i mesures de força explosiva com la TDF en la RIE de 0 als 30, 100 i 150 ms juntament amb l'IMP en la RIE a 150, 200, 250 ms i l'IMP en l'EE als 150, 200 i 250 ms. Segons estudis anteriors, els homes sembla que depenen en gran manera dels valors isomètrics màxims de força en determinades posicions per a cada articulació de la cadena cinètica del servei (Baiget et al., 2016, 2021; Fernandez-Fernandez et al., 2019). Aquestes associacions semblen més fortes que els valors d'explosivitat i acumulació de força al llarg del temps, els quals, malgrat que abans es consideraven importants en competidors joves (Colomar et al., 2022a), només van mostrar correlacions significatives en la TDF en la RIE en intervals de temps de 100 ms dins d'aquesta mostra de jugadors. Quant a les dones, es van trobar associacions positives en totes les variables que expressen la força màxima, però també en MC i en

generació i acumulació de força respecte al temps de contracció. Això concorda amb la idea general que el servei de tennis és una acció multifactorial que requereix múltiples capacitats per generar una velocitat alta (Colomar et al., 2022b). Contràriament als homes, que sembla que aprofiten millor els valors de força màxima, l'existència de correlacions significatives entre MC, CIMV, TDF i IMP en les jugadores podria indicar que la generació de velocitat de les noies depèn més de la combinació de diversos factors que d'un indicador de força predominant. Malgrat que el present estudi no tenia per objectiu verificar aquesta idea, si es confirma en futurs estudis, això indicaria la necessitat d'orientar l'entrenament per a la velocitat de servei de manera diferent en funció del sexe. Es pot destacar que l'IMP estava estretament relacionat amb la VS, la qual cosa indica també que la capacitat d'acumular energia al llarg del temps i transferir-la a tota la cadena cinètica de manera coordinada sembla important per a les dones. Juntament amb això, la MC sembla que té una forta influència en la VS, tal com s'ha constatat en la bibliografia anterior (Baiget et al., 2021; Fernandez-Fernandez et al., 2019; Fett et al., 2020). L'augment de la MC en les noies que se sol produir en arribar a l'adolescència (Malina et al., 2015) pot augmentar la producció de parell de torsió i influir positivament en la VS. No obstant això, es recomana un desenvolupament adequat de la massa muscular, ja que un increment en aquest aspecte no hauria d'obstaculitzar les millores en les variables de força explosiva que són clau per generar velocitat (Colomar et al., 2022b).

Finalment, i com a limitació d'aquest estudi, la competència biomecànica té una gran influència en la VS, especialment en edats primerenques i durant el creixement (Colomar et al., 2022a). Juntament amb determinades variables antropomètriques i de força sotmeses a prova aquí, el més probable és que la cinemàtica expliqui com es gestiona la capacitat de generar força del segment en funció del temps i l'espai per generar la VS màxima, ja que es pot aconseguir la mateixa velocitat de servei amb diferents implicacions articulars. Tot i així, aquests aspectes no es van sotmetre a prova i la seva inclusió juntament amb les capacitats d'amplitud de moviment (Fernandez-Fernandez et al., 2019) seria de gran interès per examinar tot el ventall de capacitats físiques que influeixen en la generació de velocitat i les diferències entre gèneres. A més, la freqüència de mostratge de l'extensòmetre podria haver estat relativament baixa per a les fases inicials de la contracció (< 100 ms), la qual cosa afecta en certa mesura els resultats. Finalment, els diferents tipus de servei (liftat o tallat) podrien influir en la pertinència i importància de les diferents variables analitzades; per això, és important abordar aquestes qüestions en estudis posteriors.

Conclusió

Els joves tennistes d'ambdós sexes i de la mateixa edat, nivell i característiques d'entrenament que van participar en aquest estudi van mostrar diferències significatives en determinades variables clau de força isomètrica màxima i explosiva que influeixen considerablement en la generació de velocitat en executar el servei. Per això, els homes mostren valors més alts en un paràmetre funcional clau que afecta el rendiment com és la VS. Les correlacions entre la VS i les variables de la corba força-temps indiquen que, per garantir la generació de velocitat, els adolescents de sexe masculí depenen principalment dels valors de força màxima absoluta i relativa (CIMV, CIMVR i TMDF) per sobre de l'explosivitat i de l'acumulació de força al llarg del temps. D'altra banda, la VS de les competidores es pot veure afectada en gran manera per una combinació de diverses capacitats físiques, com ara algunes característiques antropomètriques (MC), el nivell màxim de força (CIMV i CIMVR en l'EE) i els valors de generació i acumulació de força en intervals de temps curts (és a dir, la TDF i l'IMP). D'acord amb aquests resultats, a l'hora de planificar un programa de millora de la VS, pot ser important que hi hagi certes diferències al planificar l'entrenament per a cada sexe. D'una banda, quan es pretén millorar la CIMV o el TMDF en les posicions que formen part de la cadena cinètica del servei de tennis, es recomana als entrenadors que utilitzin programes d'entrenament de la resistència com ara les intervencions isomètriques, ja que s'ha demostrat que són una opció vàlida per millorar aquestes qualitats en períodes curts (Baiget et al., 2023). D'altra banda, quan l'objectiu és millorar la generació de força i l'IMP en terminis curts, l'ideal sembla que és optar per intervencions que incloguin rotacions ràpides i moviments específics de la cadena cinètica i que es facin amb pesos lleugers o moderats (Baiget et al., 2021).

Agraïments

Els autors volen expressar el seu agraïment als entrenadors i jugadors per la seva entusiasta participació.

Referències

- Andersen, L. L., & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 46-52. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0070-z>
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Zebis, M. K., & Aagaard, P. (2010). Early and late rate of force development: Differential adaptive responses to resistance training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(1), e162-e169. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00933.x>
- Baiget, E., Colomar, J., & Corbi, F. (2021). Upper-Limb Force-Time Characteristics Determine Serve Velocity in Competition Tennis Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(3), 358-366. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0254>

- Baiget, E., Colomar, J., & Corbi, F. (2023). Six-Week Joint-Specific Isometric Strength Training Improves Serve Velocity in Young Tennis Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(2), 148-156. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0292>
- Baiget, E., Corbi, F., Fuentes, J. P., & Fernandez-Fernandez, J. (2016). The Relationship Between Maximum Isometric Strength and Ball Velocity in the Tennis Serve. *Journal of Human Kinetics*, 53(1), 63-71. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0028>
- Baiget, E., Corbi Soler, F., & López, J. (2022). Influence of anthropometric, ball impact and landing location parameters on serve velocity in elite tennis competition. *Biology of Sport*, 40(1), 273-281. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.112095>
- Colomar, J., Baiget, E., & Corbi, F. (2020). Influence of Strength, Power, and Muscular Stiffness on Stroke Velocity in Junior Tennis Players. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00196>
- Colomar, J., Corbi, F., & Baiget, E. (2022a). Relationship between isometric force-time curve variables and serve velocity in young tennis players. *Sports Biomechanics*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/14763141.2022.2084151>
- Colomar, J., Corbi, F., Brich, Q., & Baiget, E. (2022b). 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/ijsp.2022-0091>
- Comfort, P., Dos'Santos, T., Beckham, G. K., Stone, M. H., Guppy, S. N., & Haff, G. G. (2019). Standardization and Methodological Considerations for the Isometric Midthigh Pull. *Strength and Conditioning Journal*, 41(2), 57-79. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000433>
- Comfort, P., Jones, Paul. A., McMahon, J. J., & Newton, R. (2015). Effect of Knee and Trunk Angle on Kinetic Variables During the Isometric Midthigh Pull. Test-Retest Reliability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 58-63. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0077>
- Cools, A. M. J., Vanderstukken, F., Vereecken, F., Duprez, M., Heyman, K., Goethals, N., & Johansson, F. (2016). Eccentric and isometric shoulder rotator cuff strength testing using a hand-held dynamometer: Reference values for overhead athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24, 3838-3847. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3755-9>
- Cools, A. M., Palmans, T., & Johansson, F. R. (2014). Age-Related, Sport-Specific Adaptions of the Shoulder Girdle in Elite Adolescent Tennis Players. *Journal of Athletic Training*, 49(5), 647-653. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.02>
- Elliott, B., Whiteside, D., Lay, B., & Reid, M. (2013). The female tennis serve: an analogous version of the male serve? *Conference: 31st Conference of 31st International Society of Biomechanics in Sport*.
- Fernandez-Fernandez, J., Canós-Portalés, J., Martínez-Gallego, R., Corbi, F., & Baiget, E. (2021). Effects of Maturation on Lower-Body Neuromuscular Performance in Youth Tennis Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(1), 167-173. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004187>
- Fernandez-Fernandez, J., Nakamura, F. Y., Moreno-Perez, V., Lopez-Valenciano, A., Del Coso, J., Gallo-Salazar, C., Barbado, D., Ruiz-Perez, I., & Sanz-Rivas, D. (2019). Age and sex-related upper body performance differences in competitive young tennis players. *PLOS ONE*, 14(9), e0221761. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221761>
- Fett, J., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2020). Impact of Physical Performance and Anthropometric Characteristics on Serve Velocity in Elite Junior Tennis Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(1), 192-202. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002641>
- Harbo, T., Brincks, J., & Andersen, H. (2012). Maximal isokinetic and isometric muscle strength of major muscle groups related to age, body mass, height, and sex in 178 healthy subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 267-275. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1975-3>
- Hayes, M. J., Spits, D. R., Watts, D. G., & Kelly, V. G. (2018). The Relationship Between Tennis Serve Velocity and Select Performance Measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 190-197. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002440>
- Hizan, H., Whipp, P., & Reid, M. (2015). Gender Differences in the Spatial Distributions of the Tennis Serve. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 10(1), 87-96. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.10.1.87>
- Holm, S. (1979). A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, 6(2), 65-70. <http://www.jstor.org/stable/4615733>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3-12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- ITN (2019). International Tennis Federation Description of Standards. Available from: <http://www.thaitennisfriendship.net/itm-chart.html> (accessed June 10, 2024).
- Johansson, F., Asker, M., Malmberg, A., Fernandez-Fernandez, J., Warnqvist, A., & Cools, A. (2022). Eccentric and Isometric Shoulder Rotation Strength and Range of Motion: Normative Values for Adolescent Competitive Tennis Players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.798255>
- Kibler, W. B., Chandler, T. J., Shapiro, R., & Conuel, M. (2007). Muscle activation in coupled scapulohumeral motions in the high performance tennis serve. *British Journal of Sports Medicine*, 41(11), 745-749. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.037333>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho e Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852-859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Oranchuk, D. J., Storey, A. G., Nelson, A. R., & Cronin, J. B. (2019). Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(4), 484-503. <https://doi.org/10.1111/sms.13375>
- 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>
- Wong, F. K., Keung, J. H., Lau, N. M., Ng, D. K., Chung, J. W., & Chow, D. H. (2014). Effects of Body Mass Index and Full Body Kinematics on Tennis Serve Speed. *Journal of Human Kinetics*, 40(1), 21-28. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0003>

Conflicte d'interessos: les autories no han comunicat cap conflicte d'interessos.



© Copyright Generalitat de Catalunya (INEFC). Aquest article està disponible a l'URL <https://www.revista-apunts.com/ca/>. Aquest treball està publicat sota una llicència Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. Les imatges o qualsevol altre material de tercers d'aquest article estan inclosos a la llicència Creative Commons de l'article, tret que s'indiqui el contrari a la línia de crèdit; si el material no s'inclou sota la llicència Creative Commons, els usuaris hauran d'obtenir el permís del titular de la llicència per reproduir el material. Per veure una còpia d'aquesta llicència, visiteu <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ca>