

Análise cinemática e contribuição para a velocidade da cabeça da raquete do membro superior no batimento de direita: diferenças entre jogadores intermédios e experientes

Autores

Bruno Miguel Machado Pedro¹; Sílvia Cabral¹; Jerusa P. R. Lara²; António Prieto Veloso¹

bmpedro@fmh.ulisboa.pt

Resumo

Este estudo teve como objetivo quantificar e comparar variáveis cinemáticas e as contribuições das rotações do segmento do membro superior do membro superior (braço, antebraço e mão) para a velocidade da cabeça da raquete numa direita no ténis comparando jogadores de nível intermédio e experientes. As variáveis cinemáticas foram recolhidas com um sistema ótico (Qualisys AB) durante a fase de aceleração e foram calculadas no software Visual 3D. O método utilizado para calcular a contribuição do membro superior foi realizado no software MATLAB utilizando as velocidades angulares do membro superior e os seus respetivos vetores de deslocamento. Os resultados sugerem que o que diferencia jogadores intermédios de experientes é a velocidade do ombro no impacto, a velocidade máxima horizontal do ombro e a maior contribuição do ombro para a velocidade da cabeça da raquete. Os treinadores deverão focar-se no desenvolvimento da rotação do ombro na direção da bola enquanto que os fisioterapeutas deverão adequar os seus planos de prevenção de lesões a estas especificidades

Palavras-chave: Direita no ténis, análise cinemática, contribuição, velocidade da raquete

¹ Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional, CIPER, Faculdade de Motricidade Humana, Universidade de Lisboa

² Reference Center in Sports Sciences - SESI, Brasil

Introdução

O batimento de direita no ténis é normalmente o primeiro gesto técnico aprendido pelos iniciantes na modalidade (Seeley, Funk, Denning, Hager, & Hopkins, 2011) sendo também considerado o segundo batimento mais importante após o serviço (Reid, Elliott, & Crespo, 2013). O fator chave para uma direita de sucesso é a velocidade da bola (Landlinger, Lindinger, Stöggl, Wagner, & Müller, 2010a) e dado que a velocidade da bola depende em grande medida da velocidade da cabeça da raquete, alguns investigadores têm tentado determinar a mecânica mais eficiente para uma maior velocidade da raquete (Landlinger, Lindinger, Stöggl, Wagner, & Müller, 2010b).

No que diz respeito às variáveis cinemáticas dos membro superiores é referido que a velocidade da raquete pode ser aumentada através de uma coordenação sequencial dos segmentos comparativamente com uma direita em que os membro superiores são movidos em conjunto (Elliott, Marsh, & Overheu, 1989) e pelo aumento de amplitudes articulares e velocidades angulares dos membros superiores e inferiores (Seeley et al., 2011). Alguns destes estudos têm descrito diferentes níveis de jogadores tais como, jogadores com classificação regional, (Elliott et al., 1989) e jogadores experientes (Seeley et al., 2011), outros ainda, comparam jogadores experientes com jogadores de elite (Landlinger et al., 2010a, 2010b) e também treinadores com jogadores intermédios (Bahamonde & Knudson, 2003). Apesar dos estudos anteriores, nenhum estudo descreveu o que diferencia os jogadores intermédios dos jogadores experientes de modo a que consigam atingir um nível superior.

Por outro lado, baseados no método desenvolvido por Sprigings, E., Marshall, R., Elliot, B. and Jennings, (1994) alguns investigadores descreveram as rotações do membro superior que eram consideradas as mais importantes para a velocidade da cabeça da raquete entre diferentes tipos do batimento de direita (chapada, top spin e balão) (Takahashi, Elliott, & Noffal, 1996) demonstrando diferentes contribuições entre o tipo de batimento e também, demonstrando diferentes contribuições entre jogadores com diferentes grips no mesmo batimento (Elliott, Takahashi, & Noffal, 1997). Apesar da importância destes estudos no qual compararam diferentes técnicas de batimento, nenhum estudo utilizou este método para a comparação dos membros superiores para a velocidade da cabeça da raquete entre jogadores de diferentes níveis. Deste modo,

podemos supor que jogadores com diferentes níveis de performance possam apresentar diferentes contribuições do membro superior para a velocidade da cabeça da raquete, podendo assim aumentar o conhecimento para todos os intervenientes da modalidade, podendo assim ajudar os atletas a aumentar a sua performance.

Deste modo, este estudo teve como objetivo quantificar e comparar a cinemática e a contribuição das rotações do membro superior (braço, antebraço e mão) para a velocidade da cabeça da raquete na direita no ténis entre jogadores intermédios e experientes. Foi colocada a hipótese de que diferentes níveis de performance apresentariam diferenças significativas nas variáveis cinemáticas e também ao nível das contribuições das rotações do membro superior para a velocidade da cabeça da raquete.

Métodos

Participantes

Participaram neste estudo vinte e sete jogadores de ténis, quinze dos quais experientes (6 masculinos e 9 femininos) (idade: 20.3 ± 2.6 anos; altura: 174.5 ± 11.2 cm; massa: 68.2 ± 11.0 kg) e doze jogadores de nível intermédio (11 masculinos e 1 feminino) (idade: 22.6 ± 8.1 anos; altura: 177.2 ± 6.3 cm; massa: 69.6 ± 11.8 kg). Todos os participantes foram informados dos procedimentos e deram o seu consentimento por escrito para participar no estudo, que foi previamente aprovado pelo conselho de ética da instituição onde foi realizado o estudo. Os jogadores experientes treinavam entre 4h e 10h por semana e competiam nas competições nacionais, estavam classificados no ranking nacional enquanto que os jogadores intermédios treinavam no máximo 4h por semana, não competiam a nível nacional nem tinham classificação nacional.

Protocolo de Teste

Os participantes observaram uma demonstração do procedimento experimental e utilizaram as suas raquetes (Figura 1) dispendo de 15 min para aquecimento. Cada participante foi instruído para realizar o batimento tal como em situação real. Foram recolhidos para análise três batimentos de cada participante com 3 segundos de intervalo entre cada repetição (Rogowski, Rouffet, Lambalot, Brosseau, & Hautier,

2011). Os batimentos foram realizados contra um pano de algodão de 3X2 metros de forma a amortecer a bola. As bolas foram lançadas para uma zona de ressalto por um treinador experiente.

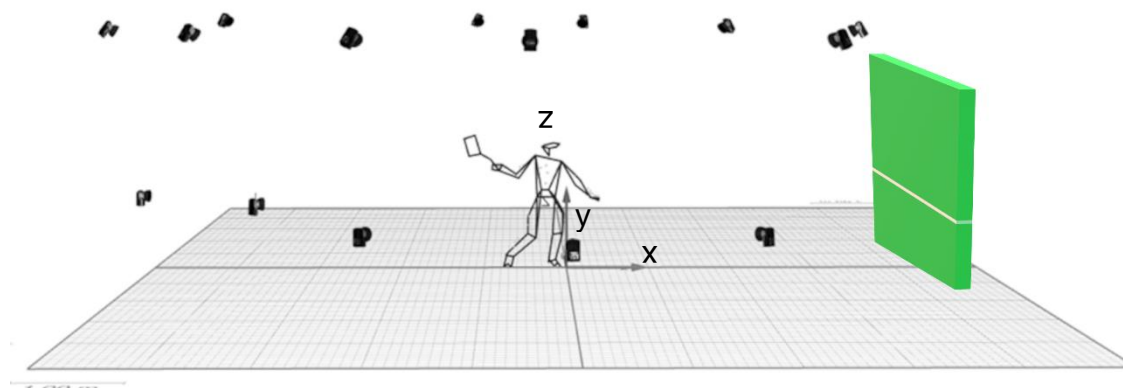


Figura 1. Set-up experimental. Representação set up experimental com quinze camaras de infravermelhos durante o início da fase de aceleração do batimento de direita no software Qualisys Track Manager.

Instrumentos

As variáveis cinemáticas foram gravadas a 240Hz com um sistema optoelectrónico com quinze camaras de infravermelhos de alta velocidade (Oqus 300, Qualisys AB, Sweden) através do software Qualisys Track Manager (version 2.17, Qualisys AB, Gothenburg, Sweden). Uma camara de vídeo adicional (Oqus 210c) foi utilizada para identificar o instante do impacto da bola com a raquete. Quarenta e três marcas refletoras (Figura 2) com 25mm de diâmetro foram colocadas nos pontos anatómicos previamente definidos (Wu et al., 2002, 2005). e dez clusters com quatro marcas não colineares para o rastreio do movimento colocadas lateralmente nos braços, antebraços, mãos, coxas e pernas. Foram ainda utilizadas quatro marcas colocadas na cabeça da raquete. Para a calibração do modelo, foi realizada uma recolha com o sujeito em posição neutra estática.

Processamento de dados

Para análise cinemática as trajetórias 3D foram identificadas no software Qualisys Track Manager, exportadas em formato c3d e filtradas no software Visual 3D (Visual 3D Professional V5.01.21, C-motion, Germantown, MD) com um filtro Butterworth passa-baixo de 4ª ordem com uma frequência de corte de 10 Hz (Seeley et al., 2011). Foi construído um modelo biomecânico com 15 segmentos rígidos (cabeça, tórax,

braços, antebraços, mãos, pelvis, coxas, pernas e pés). As variáveis cinemáticas de interesse do lado dominante (membro superior e inferior direitos) durante a tarefa foram as seguintes: 1) alinhamento (ângulo absoluto) dos ombros com a rede, 2) alinhamento da coxa com a rede, 3) angulo de flexão do cotovelo, 4) angulo de separação (diferença entre os ombros e a pélvis no plano transversal), 5) velocidade linear do ombro, 6) velocidade linear da coxa, 7) velocidade linear do cotovelo, 8) velocidade linear do punho, 9) velocidade do centro da raquete e velocidades angulares máximas da 10) rotação interna do ombro, 11) da extensão do cotovelo, 12) do tronco, e 13) da rotação da pélvis, foram calculadas utilizando uma sequência Cardan medio-lateral, antero-posterior e axial (Grood & Suntay, 1983). A posição dos segmentos foi calculada através das trajetórias das marcas de seguimento utilizando uma otimização segmentar (Spoor & Veldpaus, 1980). Todos os ângulos articulares foram normalizados entre o primeiro movimento da raquete na direção da bola (Figura 2) até ao ultimo frame antes do impacto (Landlinger et al., 2010a).



Figura 2. Set-up Individual. Protocolo de marcadores colocado em cada um dos segmentos com 43 marcas refletoras e 10 clusters com 4 marcas de seguimento não colineares.

Para o cálculo da contribuição das rotações dos segmentos para a velocidade da cabeça da raquete foi criado um ponto no centro da raquete (PK) (Figura 3) através da medição da distância desde o centro da cabeça da raquete até ao centro do punho. As velocidades angulares do membro superior e as posições lineares dos segmentos foram exportados do software Visual 3D para o software Matlab (R2010A). A

contribuição das rotações dos segmentos utiliza um método para determinar as velocidades angulares anatómicas dos segmentos do membro superior-raquete e a contribuição instantânea que cada uma destas rotações contribui para a velocidade da cabeça da raquete (Sprigings, E., Marshall, R., Elliot, B. and Jennings, 1994). As rotações anatómicas para o membro superior foram flexão/extensão, adução/abdução e rotação interna/externa para o braço. Pronação/supinação, flexão/extensão para o antebraço e flexão/extensão, e desvio radial/ulnar para a mão. Os vetores de velocidade angular absoluta dos três segmentos foram calculados de modo a que os vetores de velocidade angular relativas de cada segmento com referência ao seu ponto proximal pudessem ser calculadas. A velocidade angular sobre os eixos anatómicos do membro superior foi determinada a partir do produto escalar entre os vetores de velocidade angular relativa e o seu vetor unitário. O produto vetorial entre os vetores de velocidade angular anatómica e os respetivos vetores de posições para o centro da cabeça de raquete foram então utilizados para determinar a eficácia destas rotações articulares na produção da velocidade da cabeça da raquete (Figura 3). Para determinar as percentagens de cada rotação dos segmentos para a velocidade da raquete, este último foi considerado como 100% e, cada rotação com uma percentagem desses 100%.

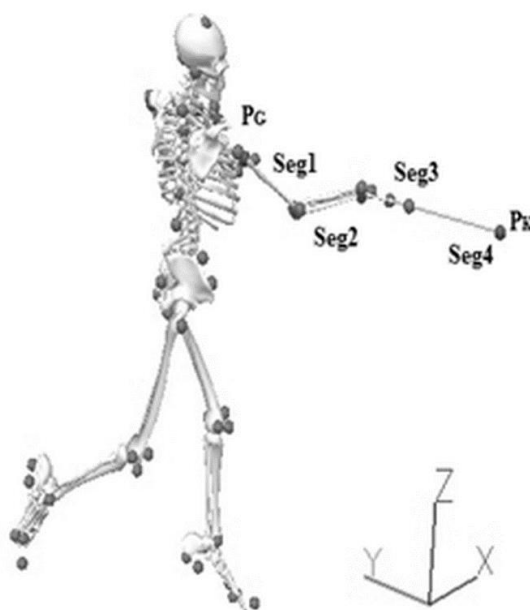


Figura 3. Participante com marcadores anatómicos. Seg1 (Segmento 1: braço), Seg 2 (Segmento 2: antebraço), Seg 3 (Segmento 3: mão), Seg 4 (Segmento 4: raquete), Pk (centro da raquete).

A velocidade no centro da raquete (V_k) (Figura 3) foi calculada através das velocidades linear do membro superior e expressa de seguinte forma:

$$\vec{V}_k = \vec{V}_g + (\vec{W}_1 \times \vec{r}_{\text{braço}}) + (\vec{W}_2 \times \vec{r}_{\text{antebraço}}) + (\vec{W}_3 \times \vec{r}_{\text{mão}}) \quad (1)$$

Onde \vec{V}_g é interpretado como a contribuição que velocidade linear que os membros inferiores e o tronco tem para a velocidade da cabeça da raquete, $\vec{W}_{1,2,3}$ representam as velocidades angulares absolutas dos três segmentos e os vetores $\vec{r}_{\text{braço, antebraço, mão}}$ definem o comprimento dos segmentos.

Análise estatística

Foram selecionadas para análise a média das três repetições de cada participante. Os dados foram testados para a normalidade utilizando o teste Shapiro-Wilk ($p < 0.05$). Para as variáveis com distribuição normal foi utilizado um teste-t para medidas independentes, para as variáveis que não apresentaram uma distribuição normal foi utilizado o teste de Mann-Whitney U. Para todos os testes, o nível de significância foi de $p < 0.05$. Todos os dados foram reportados em médias \pm DP. O tamanho do efeito (ES) foi calculado para o test-t de medidas independentes através do d de Coehen, que foi classificado em pequeno (0.2), médio (0.5) e grande (0.8). Para o teste de Mann-Whitney U o tamanho do efeito (r) foi definido como pequeno, médio e grande quando $r \leq 0.1$, $r \leq 0.3$ e $r \leq 0.5$, respetivamente (Pallant, 2011). Toda a análise estatística foi realizada com recurso ao software SPSS versão 20 (SPSS Inc. Company, Chicago).

Resultados

As variáveis cinemáticas (Tabela 1) demonstraram diferenças significativas entre os jogadores intermédios e os experientes na velocidade linear do ombro no instante do impacto ($p < 0.05$), na velocidade horizontal máxima do ombro ($p < 0.05$) e na flexão do cotovelo no instante do impacto ($p < 0.05$). A contribuição do membro superior para a velocidade da cabeça da raquete é apresentada na Tabela 2. Foram demonstradas diferenças significativas ($p < 0.05$) entre os dois níveis de jogadores apenas na contribuição do ombro (representando também o tronco e os membros inferiores).

Tabela1. Variáveis cinemáticas dos jogadores de ténis intermédios e experientes. + indica diferenças significativas ($p < 0.05$). * indica análise estatística com o teste de Mann-Whitney U.

Variáveis	Intermédios	Experientes	t/U*	p	d/r*
	Média ± DP Md, n*12	Média ± DP Md, n*15			
Final da Preparação (°)					
Alinhamento dos ombros com a rede (°)	-110,3 ± 12,9	-107,7 ± 9,8	-0,590	0,560	0,2
Alinhamento da coxa (°)	-84,1 ± 11,6	-86,6 ± 19,7	0,376	0,710	-0,1
Flexão do cotovelo (°)	59,6 ± 15,9	61,0 ± 15,1	-0,231	0,819	0,1
Ângulo de separação (°)	-16,9 ± 6,5	-16,0 ± 4,5	-0,427	0,673	0,2
Impacto (°)					
Alinhamento dos ombros com a rede (°)	-4,6 ± 12,8	-2,1 ± 10,1	-0,556	0,583	0,2
Alignment da coxa (°)	-25,1 ± 20,1	-24,7 ± 19,7	-0,058	0,954	0,0
Flexão do cotovelo (°)	47,0 ± 16,2	64,6 ± 15,2	-2,910	0,007	1,1
Ângulo de separação (°)	16,9 (12)*	16,4 (15)*	73,0*	0,407	-0,2*
Velocidade horizontal ombro (x) (m/s)	1,2 ± 0,6*	1,9 ± 0,6*	-3,149	0,004+	1,2
Velocidade do centro da raquete (x) (m/s)	20,9 ± 3,3	21,7 ± 2,0	-0,776	0,445	0,3
Velocidade máxima horizontal (x) (m/s)					
Coxa (m/s)	1,1 ± 0,4	1,3 ± 0,3	-1,863	0,074	0,7
Ombro (m/s)	2,4 (12)*	3,1 (15)*	42,0*+	0,019+	-0,5*
Cotovelo (m/s)	4,9 ± 0,8	5,2 ± 0,7	-1,010	0,322	0,4
Punho (m/s)	8,5 (12)*	8,8 (15)*	68,0*	0,283	-0,2*
Centro da raquete (m/s)	21,3 ± 3,0	22,0 ± 1,9	-0,701	0,489	0,3
Ponta da raquete (m/s)	25,6 ± 3,2	26,9 ± 2,5	-1,192	0,245	0,5
Velocidade angular máxima (°/s)					
Rotação interna do ombro (°/s)	625,2 ± 162,0	567,1 ± 106,3	1,122	0,272	-0,4
Rotação interna do ombro absoluta (°/s)	845,3 ± 114,0	896,4 ± 132,8	-1,057	0,301	0,4
Extensão do cotovelo (°/s)	195,4 (12)*	215,9 (15)*	81,0*	0,661	-0,1*
Extensão do cotovelo (°/s)	-165,8 ± 77,0	-210,2 ± 131,2	1,035	0,310	-0,4
Vel. ang. absoluta da rotação do tronco (°/s)	590,4 ± 105,9	647,3 ± 85,6	-1,548	0,134	0,6
Vel. ang. absoluta da pelvis (°/s)	438,0 ± 104,6	496,6 ± 104,7	-1,446	0,161	0,6

Tabela 2. Contribuição do membro superior para a velocidade da cabeça da raquete entre jogadores de ténis intermédios e experientes.

Segments	Intermediate		Experts		t/U*	p	d/r*
	Média ±SD Md, n* (m/s)	Contribuição (%)	Média ±SD Md, n (m/s)	Contribuição (%)			
Ombro	1.6 ± 0.7	7.9	2.2 ± 0.6	11.9	2.695	0.012+	-1,0
Braço							
Flex/Ext	8.0 ± 2.3	40.0	8.7 ± 1.7	41.5	-0.185	0.855	0,1
Adu/Abd	0.2 ± 0.2	-1.5	0.0 ± 0.9	0.4	-0.334	0.741	0,1
Rotação Int/Ext	5.0 (12)*	26.2	4.7 (12)*	25.2	78.0*	0.581	-0.1*
Antebraço							
Flex/Ext	3.7 (12)*	18.9	3.6 (12)*	19.8	85.5*	0.826	0.0*
Pron/supi	2.4 ± 3.2	10.4	1.4 ± 1.9	5.0	-1,072	0,294	0,4
Mão							
Flex/Ext	0.1 ± 0.7	2.1	0.3 ± 0.9	1.6	0,667	0,511	-0,3
Adu/Abdu	-0.9 ± 0.8	-3.9	-0.8 ± 0.7	-5.4	0,408	0,687	
Centro raquete	26.0 ± 4,5		23.3 ± 3.1		-1,914	0,067	0,7

Discussão

O objetivo deste estudo foi comparar as variáveis cinemáticas do membro superior e as contribuições das rotações do membro superior para a velocidade da cabeça da raquete entre jogadores intermédios e experientes. Os resultados sugerem que o que diferencia os jogadores experientes dos intermédios é a velocidade horizontal do ombro no impacto, a velocidade horizontal máxima do ombro e consequentemente uma maior contribuição do ombro para a velocidade da cabeça da raquete.

As limitações deste estudo prendem-se com o set up experimental não ecológico e a inclusão de ambos os sexos nos dois grupos estudados, que poderá esconder algumas características específicas relativamente ao género. Contudo, dado a boa distinção entre grupos, acreditamos que os participante refletem os dois níveis de performance.

Velocidade da raquete

Landlinger et al., (2010a) reportaram velocidades da raquete superiores às do presente estudo (31.1 ± 2.1 m/s and 29.1 ± 1.7 m/s) em jogadores de elite e de alta-performance respetivamente. Por outro lado, velocidades inferiores foram reportadas por Elliott et al., (1989) entre 20.2 to 23.2 m/s, Elliott et al., (1997) com velocidades

entre 13.9 and 17 m/s e semelhante a Knudson & Blackwell, (2005) com valores médios de 24.3 m/s. Apesar da velocidade ligeiramente superior no grupo experiente, não foram encontradas diferenças significativas entre os dois grupos, contudo, dado a comparação entre estes dois níveis ser rara, estes valores deverão acrescentar suporte aos treinadores.

Ângulos articulares – Início da fase de aceleração

O alinhamento dos ombros é um fator essencial ensinado desde cedo na aprendizagem do ténis, com uma importância crescente em fases mais evoluídas juntamente com a pélvis, criando o ângulo de separação de modo a acumular energia elástica no final da fase de preparação (Elliott, 2006). Embora a rotação dos ombros no final da fase de preparação estejam de acordo com outros estudos (Elliott et al., 1997; Landlinger et al., 2010a), o ângulo de separação apresenta um ligeiro e inferior ângulo de separação daquele apresentado por Takahashi, Elliott, & Noffal, (1996). Esta diferença pode ser explicada devido ao facto de a maioria dos batimentos de direita terem sido realizadas em apoio fechado, apesar de não ter sido pedido nenhum tipo específico de apoio aos participantes. O alinhamento da coxa e a flexão do cotovelo estão de acordo com estudos anteriores (Landlinger et al., 2010a), embora Elliott et al., (1997) apresente uma flexão do cotovelo entre 58.4 and 91° refletindo diferenças entre um batimento chapado e em top-spin e mais ainda quando comparando o grip utilizado pelos jogadores.

Impacto

O alinhamento dos ombro com a rede está de acordo com os valores encontrados na literatura (Landlinger et al., 2010a). A flexão do cotovelo dos jogadores intermédios apresenta um ângulo inferior comparativamente com estudos anteriores (Seeley et al., 2011), e semelhantes ao estudo de Landlinger et al., 2010b). As diferenças encontradas na flexão do cotovelo, sendo esta maior no grupo experiente poderá estar relacionado com a pega utilizada pelos jogadores (Reid et al., 2013). A velocidade do ombro apresentou diferenças significativas entre os dois grupos, na qual os jogadores experientes apresentaram velocidades superiores no impacto, (INT: $1,2 \pm 0,6$ and EXP: $1,9 \pm 0,6$), tal como previamente demonstrado (Landlinger et al., 2010a). Assim, podemos considerar que a capacidade para criar uma maior velocidade no ombro é um fator que distingue estes dois níveis.

Velocidade máxima horizontal

Tal como demonstrado por (Landlinger et al., 2010b), o grupo com o nível mais elevado produziu maiores velocidades horizontais, no entanto no presente estudo, essas diferenças foram apenas estatisticamente significativas para o ombro. Estas diferenças podem representar um importante fator chave de forma a diferenciar jogadores intermédios de jogadores experientes. Não foram detetadas outras diferenças significativas, contudo, um grande efeito foi detetado na velocidade horizontal da coxa, o que pode ser uma detalhe importante para os treinadores.

Velocidade angular máxima

A rotação interna do ombro, considerada a rotação mais importante para a velocidade da cabeça da raquete por Elliott et al., (1997), demonstrou no nosso estudo ser a que atinge uma maior velocidade angular. Os resultados deste estudo demonstraram maiores velocidades angulares do ombro, cotovelo e tronco comparativamente ao estudo de Seeley et al., (2011), estando no entanto de acordo com Landlinger et al., (2010b). Apesar de não terem sido verificadas diferenças significativas, um grande tamanho do efeito foi verificado na rotação do tronco e pélvis, que poderá estar relacionado com a velocidade horizontal da coxa.

Análise da contribuição do membro superior para a velocidade da cabeça da raquete

No que diz respeito à contribuição para a velocidade da raquete (Tabela 2) foram observadas diferenças significativas entre os dois grupos na contribuição do ombro (representando a contribuição do tronco e dos membros inferiores). Estas diferenças são corroboradas pela mais elevada velocidade do ombro no instante do impacto bem como durante a fase de aceleração (Tabela 1), demonstrando que capacidade de acelerar o ombro é um fator chave que distingue jogadores experientes dos intermédios, sendo esta informação importante para treinadores e jogadores. Contrariamente ao presente estudo, Takahashi et al. (1996) que refere que a maior contribuição para a velocidade da cabeça da raquete é a rotação interna do braço seguido pela flexão e adução do braço, tal como Elliott et al., (1997). Apesar das diferenças dos estudos anteriores, podemos considerar que estas diferenças poderão ser atribuídas à realização desta tarefa em ambiente laboratorial, tendo sido realizado um batimento mais chapado.

Conclusão

Podemos concluir que a velocidade horizontal do ombro e a contribuição do tronco e dos membros inferiores é um fator chave que poderá distinguir os jogadores intermédios dos jogadores experientes. Os treinadores de ténis deverão focar-se no desenvolvimento da velocidade de rotação do ombro na direção do batimento, enquanto fisioterapeutas deverão estar atentos a estas contribuições de forma a adequar programas de prevenção de lesões. Estudos futuros deverão tentar investigar diferenças entre outros níveis de jogadores e apoios.

Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia, com a bolsa UIDB/00447/2020 para CIPER - Centro Interdisciplinar para o Estudo da Performance Humana (unit 447).

Referências

- Bahamonde, R. E., & Knudson, D. (2003). Kinetics of the upper extremity in the open and square stance tennis forehand. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 6(1), 88–101.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2ed)* (Vol. 39).
- Elliott, B. (2006). Biomechanics and tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 392–396.
- Elliott, Bruce, Marsh, T., & Overheu, P. (1989). A biomechanical comparison of the multisegment and single unit topspin forehand drives in tennis. *International Journal of Sports Biomechanics*, 5, 350–364.
- Elliott, Bruce, Takahashi, K., & Noffal, G. (1997). The influence of grip position on upper limb contributions to racket head velocity in a tennis forehand. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 182–196.
- Grood, E. S., & Suntay, W. J. (1983). A Joint Coordinate System for the Clinical Description of Three-Dimensional Motions: Application to the Knee. *Journal of Biomechanical Engineering*, 105(2), 136–144.

- Knudson, D. V., & Blackwell, J. R. (2005). Variability of impact kinematics and margin for error in the tennis forehand of advanced players. *Sports Engineering*, 8(2), 75–80.
- Landlinger, J., Lindinger, S. J., Stöggl, T., Wagner, H., & Müller, E. (2010a). Kinematic differences of elite and high-performance tennis players in the cross court and down the line forehand. *Sports Biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports*, 9(4), 280–295.
- Landlinger, J., Lindinger, S., Stöggl, T., Wagner, H., & Müller, E. (2010b). Key factors and timing patterns in the tennis forehand of different skill levels. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(4), 643–651.
- Pallant, J. (2011). *SPSS survival manual: a step by step guide to data analysis using IBM SPSS (4th ed.)*. Allen & Unwin, 83 Alexander Street - Crows Nest NSW 2065 - Australia.
- Reid, M., Elliott, B., & Crespo, M. (2013, January). Mechanics and learning practices Associated with the Tennis forehand: A review. *Journal of Sports Science and Medicine*.
- Rogowski, I., Rouffet, D., Lambalot, F., Brosseau, O., & Hautier, C. (2011). Trunk and upper limb muscle activation during flat and topspin forehand drives in young tennis players. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(1), 15–21. Retrieved from
- Seeley, M. K., Funk, M. D., Denning, W. M., Hager, R. L., & Hopkins, J. T. (2011). Tennis forehand kinematics change as post-impact ball speed is altered. *Sports Biomechanics*, 10(4), 415–426.
- Spoor, C. W., & Veldpaus, F. E. (1980). Rigid body motion calculated from spatial coordinates of markers. *Journal of Biomechanics*, 13(4), 391–393.
- Sprigings, E., Marshall, R., Elliot, B. and Jennings, L. (1994). A Three-Dimensional Kinematic Method For Determining The Effectiveness of Arm Segment Rotations in Producing Racquet-Head Speed. *J. Biomechanics*, 27(3), 245–254.
- Takahashi, K., Elliott, B., & Noffal, G. (1996). The role of upper limb segment rotations in the development of spin in the tennis forehand. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 28(4), 106–113.

- Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., ... Stokes, I. (2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. *Journal of Biomechanics*, 35(4), 543–548.
- Wu, G., Van Der Helm, F. C. T., Veeger, H. E. J., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., ... Buchholz, B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion - Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 981–992.