

Análisis cinemático del swing de golf en golpes de precisión

JOSÉ CAMPOS GRANELL, ANA PABLOS MONZÓ Y CARLOS PABLO ABELLA
Departamento Educación Física y Deportiva
Universidad de Valencia

Introducción y objetivos

En el aprendizaje de la técnica del swing como en las demás especialidades deportivas, se intenta transmitir a los deportistas un modelo general de técnica que es considerado como óptimo para conseguir rentabilizar al máximo el esfuerzo y obtener así los mejores resultados posibles. Evidentemente, la reproductividad de estos modelos es relativa ya que, con el tiempo, lo que se produce es una adaptación de dicho modelo a las características personales del propio jugador (fuerza, características antropométricas, neuromotrices, etc.) dando lugar a lo que se ha denominado estilo o modelo personal de técnica. En este largo proceso de aprendizaje y consolidación del modelo personal se van realizando numerosos y continuos ajustes de la técnica que dan como resultado unas acciones técnicas que alcanzan un nivel determinado de estabilidad.

La mayoría de los estudios biomecánicos realizados en el golf han estado centrados en tres grandes ámbitos: el análisis cinemático del swing considerando todos los segmentos corporales que intervienen en la acción; el análisis cinético considerando las fuerzas de reacción ejercidas por el jugador sobre el suelo; y el análisis de la actividad muscular de los segmentos superiores a través de estudios de electromiografía (EMG) como formas de control del movimiento y prevención de lesiones.

En el año 1968, Cochran and Stobbs (1968) expusieron su teoría del swing de golf como de *doble péndulo*. Más tarde, los trabajos de Milburn (1982) y de Neal and Wilson (1985) exploraron la teoría del Doble Péndulo de Cochran y Stobbs a través de estudios cinemáticos en 2-D y 3-D respectivamente, a los que siguió el realizado en 3D por

McLaughlin (1994). Entre los trabajos recientes, cabe destacar el estudio de Spriging y Neal (2000) en el que se estudia la relación entre la velocidad de palo y el movimiento de rotación de las muñecas. En este estudio se confirma la necesidad de la actuación secuencial de los segmentos implicados.

En el Golf, cada golpe conlleva dos exigencias, la distancia y la dirección. Hay golpes que se realizan desde el tee de salida cuyo objetivo es conseguir la máxima distancia posible. En los golpes de precisión, la distancia máxima deja de ser uno de los objetivos principales. El golpe se ajusta utilizando un palo cuya cara tiene un ángulo de loft adecuado para cada situación de juego. En el caso de los golpes de precisión, la consistencia en la ejecución del swing es decisiva.

El downswing se considera un sistema motor complejo que puede explicarse a través de la teoría del doble péndulo conformado por un segmento superior (el brazo y el hombro) pivotando en el hombro y unido en la muñeca al segmento inferior que es el palo. (Milburn, 1982). La velocidad de la cabeza del palo se considera como una función dependiente de la secuencia de las velocidades de los segmentos de la cadena cinemática que interviene en el swing (Herring & Chapman, 1992). En esta cadena, la articulación de la muñeca, siendo la articulación más distal, juega un papel relevante en la consecución de la velocidad final de la cabeza del palo. La acción que realizan las muñecas de plegar y desplegar el palo durante el downswing contribuye a conseguir la máxima velocidad de la cabeza del palo. La primera fase del downswing comienza en las muñecas, hombros, manos y palo moviéndose juntos como un cuerpo rígido respecto de un eje de rotación fijo (Milburn, 1982). En todo caso, las muñecas no colaboran sólo a la consecución de la velocidad de la cabeza del palo, sino que también condicionan la precisión. En este sentido, Williams (1972) planteó que la acción de la muñeca izquier-

Correspondencia:

Departamento Educación Física y
Deportiva Universidad de Valencia
Jose.Campos@uv.es

da es clave para conseguir cuadrar la cara del palo en el impacto para conseguir tiros rectos y un contacto efectivo.

En los procesos de análisis de las técnicas deportivas resulta crucial conocer la capacidad del deportista para reproducir el gesto, lo que conlleva analizar estudios intrasujeto. A pesar de que los estudios cinemáticos desarrollados sobre el golf son numerosos, hemos encontrado pocas referencias de estudios intrasujeto en los que se analice los acontecimientos en el modelo individual del jugador. Esto es, en el análisis de los factores que puedan explicar la efectividad de un jugador, o la consistencia interna de sus acciones.

Con todo, el objetivo del presente estudio pretende, por un lado, tratar de validar una metodología de trabajo para el análisis cinemático del swing. Por otro lado, se pretende evaluar el modelo individual de un jugador por medio del análisis de parámetros cinemáticos al ejecutar tiros de precisión sobre un objetivo fijo, y en condiciones controladas de stance.

Material y método

La técnica instrumental utilizada ha sido la Fotogrametría 3D, utilizando 2 cámaras de video SVHs con una frecuencia de muestreo de 50 Hz.

El proceso de digitalización fue manual, fotograma a fotograma, por medio de la aplicación *Kinescan-Digital IBV*. El cálculo de las coordenadas 3D, se realizó mediante el método de la DLT (Abdel-Aziz, y Karara, 1971), y fueron suavizadas por medio de funciones Spline de quinto orden y con el método GCV (Woltring, H.J, 1986). Para una mejor localización del instante de golpeo se realizó, a través del programa, una interpolación en el tiempo para representar una frecuencia de 100 Hz.

El modelo corporal utilizado está formado por 26 puntos de los que 24 corresponden al cuerpo humano y 2 al palo. Para la calibración del espacio se utilizó un cubo articulado de 2x2 mts. que permitió considerar 12 puntos de referencia.

El análisis estadístico se basa en un estudio correlacional y como medida de dispersión, se calcula el Coeficiente de Variación (CV) para cada una de las variables cinemáticas analizadas..

Muestra

El sujeto objeto de análisis fue un jugador amateur con un handicap de juego 8.4 (2ª categoría). La muestra quedó compuesta por un total de 8 gol-

pes. Cada golpe fue ejecutado con un Pitching Wedge de la marca King Cobra con un ángulo de loft de 50°.

Protocolo de Intervención

Para la ejecución de los golpes se marcó la zona de golpeo. Como objetivo se situó una bandera a una distancia de 90 metros del punto de golpeo. El jugador tenía que adoptar una posición de Stance en la que los pies se debían situar en una posición fija. Esto es, debía situar sus pies de forma que la punta de los mismos tocara una línea marcada en el suelo, paralela al eje de coordenadas Y, y a la bandera.

Después de cada golpeo se anotaba la distancia conseguida y la desviación lateral en metros respecto la línea del objetivo.

Variables y eventos de referencia

Las variables de estudio se han definido a partir de parámetros que se considera relevantes para analizar golpes de precisión:

- Velocidad de la cabeza del palo.
- Distancia.
- Desviación lateral del objetivo.
- Ángulo de rotación del eje de los hombros en el plano horizontal.
- Ángulo de rotación del eje de las caderas en el plano horizontal.
- Ángulo wrist (formado por el segmento del brazo con el palo).
- Ángulo de flexión de la articulación de las rodillas de ambas piernas.
- Ángulo de flexión de la articulación del codo de ambos brazos.

Tal y como se ha expresado en apartados precedentes, el estudio se ha dirigido al análisis y consideración de las acciones que tienen lugar durante el swing. Esto es, las acciones que un jugador ejecuta durante un swing completo. Las variables de estudio se analizan considerando los siguientes eventos de referencia:

T0: Instante correspondiente al inicio del movimiento del palo.

T1: Instante en que el palo llega a la posición más alta. (top)

T2: Instante en que el brazo izquierdo queda en posición paralelo al suelo.

T3: Instante del golpeo de la bola.

T4: Instante del finish en que el palo queda inmóvil después del golpeo.

Dichos eventos permiten establecer una serie de fases, las cuales coinciden con las que recoge la literatura específica:

T0 a T1: Backswing.

T1 a T3: Downswing.

T3 a T4: Follow-through.

Resultados y discusión

Los resultados muestran que para este tiro de precisión el jugador utiliza una velocidad media de 24,9 m/s para conseguir una distancia de 91,25 m. En la literatura se dan referencias de la velocidad de la cabeza del palo en golpeos de Drive para conseguir la máxima distancia reportando velocidades entre 45 y 54 m/s en función del nivel del jugador (Lee, Erikson & Cherveney, 2002); de 41.8 m/s para jugadores amateurs y 48,3 m/s de media para profesionales (Robinson, 1994). No se han encontrado referencias de velocidades de la cabeza del palo en tiros de precisión con un pitching wedge aunque parece que los valores calculados en este estudio se encuentran en correspondencia con los de Drive en la medida que las distancias conseguidas con éste pueden oscilar entre los 240 y 280 metros.

Los resultados muestran que la precisión en la consecución del objetivo varía más que la velocidad con la que el palo golpea a la bola. En la tabla 1 se muestran los descriptivos de la prueba realizada con las tendencias de cada golpe (I/D Izquierda/Derecha) considerado los valores de la desviación en metros).

Al analizar la variabilidad, y desde un punto de vista global, se encuentra un cierto grado de estabilidad en el ajuste del golpe por parte del jugador dado que el coeficiente de variación de la distancia es de tan sólo el 5%. Por el contrario, la variabilidad en la precisión (desviación lateral del objetivo) es mucho más alta por cuanto el coeficiente de variación hallado es del 79%. Sin embargo, habría que considerar que esta aparente falta de precisión, en situación real de juego no lo sería tanto porque el jugador habría conseguido situar la bola en el green en 7 de los 8 tiros.

En términos objetivos, el golpe más preciso es el nº 7 en el que la bola se desvía dos metros a la derecha de la bandera, sobrepasando ésta en tan sólo un metro. Por el contrario, el golpe menos pre-

ciso es el 2º en el que la bola se desvía 17 metros a la izquierda, quedando 3 metros corta de bandera.

En relación con el ritmo del swing, el análisis temporal pone de manifiesto que las diferencias entre los ensayos son mínimas en el tempo de ejecución. Las medias indican que el backswing se realiza en 0.66 s. (± 0.021); el downswing en 0,29 s. (± 0.015); y el follow-through en 0,55 s. (± 0.091). Esto es, un ritmo en el que el backswing ocupa el 40% del total del tiempo del swing, el downswing, el 19%, y el follow-through el 39%. Al analizar la variabilidad de cada una de estas fases, se ha encontrado que ésta es mayor en las fases posteriores al golpeo. Mientras el coeficiente de variación del backswing y del downswing es reducido (3º y 5% respectivamente), en el caso del follow-through la variabilidad aumenta hasta el 16%, aunque dado que esta fase es posterior al golpeo, su importancia es reducida en cuanto a los efectos sobre la obtención de precisión. De hecho, la fase del follow-through es una consecuencia de las acciones realizadas en las fases anteriores.

En la tabla 2 se presentan los descriptivos correspondientes a las variables anteriores (media, desviación estándar, máximo y mínimo).

La velocidad de la cabeza del palo se incrementa durante la fase del downswing de manera que la máxima velocidad se consigue en el instante del impacto, o cercana a él (x : 24,9 m/s). La fase en que se produce la máxima aceleración del palo es la que transcurre entre los eventos T2 y T3. La máxima variabilidad se da en los valores de la velocidad en el instante del top (T1) (CV: 52%), y la mínima en el instante del impacto (CV: 10%), poniendo de manifiesto que el jugador no tiene un patrón estable a la hora de fijar el palo en la parte más alta del swing.

Respecto de la acción de los ejes de las caderas y de los hombros, se puede comprobar que en el stance el jugador tiende a situar los hombros más adelantados que las caderas (178º y 193º respectivamente). En el instante del top (T1) son los hombros los que se encuentran más girados que las caderas (236º y 200º respectivamente). Finalmente, en el impacto, se vuelve a una situación similar a la posición inicial (T0) en que los hombros vuelven a adelantarse a las caderas (177º y 187º respectivamente). Con todo, las posiciones del jugador son coincidentes con el modelo general en T3, pero no solo son en los instantes T0 y T1, por cuanto resulta más habitual que los ejes de los hombros se encuentren más retrasados que las caderas en ambas instantes. Este hecho lo que muestra es un patrón

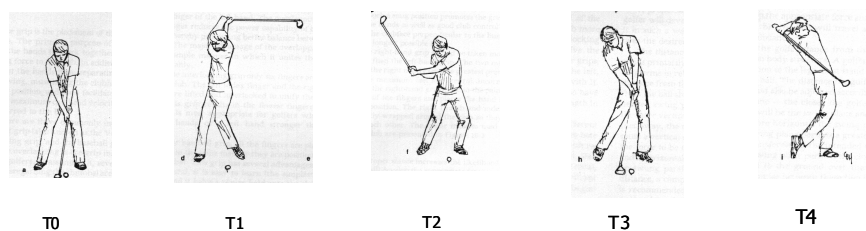


Figura 1: Representación de las acciones correspondientes a los eventos T0, T1, T2,

Tabla 1: Resultados obtenidos en cada golpe

Ensayo	Distancia (m)	Desviación (m)	Vel. Cabeza palo T3	T0-T1 (s)	T1-T3 (s)	T3-T4 (s)
1	91	5I	25,9	0,68	0,28	0,44
2	87	17I	26,9	0,62	0,28	0,5
3	89	9I	25,3	0,64	0,28	0,46
4	92	7I	21,3	0,66	0,32	0,68
5	85	3D	22,5	0,68	0,28	0,56
6	99	2D	29,1	0,66	0,3	0,52
7	91	2I	23	0,66	0,3	0,56
8	95	5D	25,2	0,68	0,28	0,68
Media	91,125	6,25	24,9	0,66	0,29	0,55
D.S (±)	4,42	4,80	2,54	0,021	0,015	0,090
C.V.	0,05	0,79	0,10	0,032	0,052	0,164

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de tendencia central

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	C.V. (%)
VPALO1 (m/s)	8	0,3	2,9	1,81	0,942	0,52
VPALO2(m/s)	8	11,6	28,4	17,475	5,084	0,29
VPALO3(m/s)	8	21,3	29,1	24,900	2,542	0,10
WRIST1(°)	8	78,0	85,0	82,250	2,493	0,03
ROTCAD0(°)	8	181,0	200,0	193,25	6,520	0,03
ROTCAD1(°)	8	197,0	207,0	202,25	4,166	0,02
ROTCAD2(°)	8	92,0	106,0	98,250	5,092	0,05
ROTCAD3(°)	8	180,0	200,0	187,500	6,279	0,03
ROTHOMB0(°)	8	170,0	192,0	178,625	7,269	0,04
ROTHOMB1(°)	8	248,0	280,0	266,500	11,588	0,04
ROTHOMB2(°)	8	223,0	251,0	236,125	9,357	0,04
ROTHOMB3(°)	8	158,0	200,0	177,000	12,570	0,07
RODDER2(°)	8	150,0	165,0	155,875	4,883	0,03
RODIZQ2(°)	8	133,0	145,0	138,500	4,375	0,03
CODIZQ3(°)	8	134,0	147,0	141,125	4,764	0,03
CODDER3(°)	8	141,0	159,0	148,375	6,232	0,04
HOM_CAD T3(°)	8	-7	20	5,500	8,992	1,63

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de tendencia central

Tabla 1 : Resultados obtenidos en cada golpe	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	C.V. (%)
VPA LO1 (m/s)	8	0,3	2,9	1,81	0,942	0.52
VPA LO2(m/s)	8	11,6	28,4	17,475	5,084	0.29
VPA LO3(m/s)	8	21,3	29,1	24,900	2,542	0.10
WRIST1(°)	8	78,0	85,0	82,250	2,493	0.03
ROTCAD0(°)	8	181,0	200,0	193,25	6,520	0.03
ROTCAD1(°)	8	197,0	207,0	202,25	4,166	0.02
ROTCAD2(°)	8	92,0	106,0	98,250	5,092	0.05
ROTCAD3(°)	8	180,0	200,0	187,500	6,279	0.03
ROTHOMB0(°)	8	170,0	192,0	178,625	7,269	0.04
ROTHOMB1(°)	8	248,0	280,0	266,500	11,588	0.04
ROTHOMB2(°)	8	223,0	251,0	236,125	9,357	0.04
ROTHOMB3(°)	8	158,0	200,0	177,000	12,570	0.07
RODDER2(°)	8	150,0	165,0	155,875	4,883	0.03
RODIZQ2(°)	8	133,0	145,0	138,500	4,375	0.03
CODIZQ3(°)	8	134,0	147,0	141,125	4,764	0.03
CODDER3(°)	8	141,0	159,0	148,375	6,232	0.04
HOM_CAD T3(°)	8	-7	20	5,500	8,992	1,63

Tabla 3: Listado de relaciones significativas entre variables ($\alpha=95\%$)

Variables	r	p
Distancia – wrist T1	.839	.009
Distancia – codoizq T3	.786	.021
Vel. Palo T3 – rodder T2	-.802	.017
Vel. Palo T3 – Vel. Palo T2	-.785	.021
Vel. Palo T3 – RotHom-Cad T3	.826	.011
Rotcad T2 – codder T3	.847	.008
RodderT3 – rotcad T3	-.896	.003
RotHom To – RotCad T0	-.794	.019

de comportamiento basado en una acción excesivamente pasiva de las caderas.

Al analizar las posibles relaciones entre variables, no se ha encontrado relación significativa entre la velocidad del palo y la distancia, ni tampoco entre aquella con la desviación lateral del objetivo. Sin embargo se ha encontrado que a menor velocidad del palo en el instante del evento t2, mayor es la velocidad del palo en el instante del golpeo. La variabilidad mayor aparece en la velocidad del palo aunque dicha variabilidad disminuye a medida que nos encontramos en fases cercanas al golpeo. En la tabla 3 se presentan los resultados de aquellas variables en las que el estudio correlacional ha con-

firmado la existencia de relaciones significativas para un nivel de confianza del 95%.

Por tanto, la distancia aumenta cuanto menor es el arco del swing (aunque habría que tener en cuenta que las diferencias entre los valores máximo y mínimo del wrist en el top (T1) son muy pequeños), y cuanto mayor es la extensión del codo. En cuanto a la velocidad del palo el instante del golpeo (T3), ésta es mayor cuanto mayor es la flexión de la rodilla derecha en el instante del evento T2, cuanto menor es la velocidad del palo en el instante correspondiente al evento T2, y cuanto mayor es la diferencia entre los ángulos de rotación de las caderas y de los hombros en el plano horizontal en el

impacto. Por otro lado también se constata que cuanto más extendida está la rodilla de la pierna derecha, más giradas está el eje de caderas en el impacto. La constatación de la relación inversa de la velocidad de la cabeza del palo en T2 y T3 coincide con la teoría general del swing en la que se establece que la velocidad de la cabeza del palo puede incrementarse si, de forma natural, se retrasa la acción de las muñecas que lanza el palo sobre la bola (Jorgensen, 1994).

Resulta interesante que en la posición inicial (T0), se haya encontrado una relación significativa de signo negativo entre los ángulos de rotación de las caderas y los hombros: cuanto mayor es el ángulo de las caderas, menor es el de los hombros ($r: -.794 / p: .019$). En la medida que el protocolo de intervención obligaba al jugador adopta la posición de stance alineándose respecto del objetivo compensando la excesiva rotación de uno de los ejes con el ajuste del otro.

Conclusiones

En primer lugar, conviene destacar que la metodología de trabajo se ha demostrado adecuada al objeto de investigación en la medida que los resultados obtenidos se encuentran en concordancia con los expuestos en la literatura específica.

En cuanto al análisis del patrón de comportamiento del jugador, parece que existen mecanismos de acción compensatorios que el jugador utiliza durante la ejecución para controlar la trayectoria y los mecanismos de orientación de la cara del palo algunos de los cuales actúan en los instantes del contacto de la cara del palo con la bola. Por ello, sería aconsejable utilizar frecuencias de muestreo más altas, así como considerar nuevas variables cinemáticas en el estudio, e incorporar el análisis cinético como metodología de trabajo.

En el futuro se pretende analizar a jugadores amateurs de alto nivel, así como a profesionales que se encuentren en situación activa de competencia en alguno de los circuitos, nacionales o internacionales.

Bibliografía

1. **Abdel-Aaziz, Y.I. y Karara, H.M.** Direct linear transformation from comparator coordinates into objectspace coordinates in close range photogrammetry. En *ASP Symposium on close range photogrammetry*, (Editado por American society of photogrammetry), ASP, Falls Church, 1971, pp.1-18

2. **Burden, A.M., Grimshaw, P.N., Wallace, E.S.** Hip and Shoulder rotations during the Golf Swing of sub-10 handicap players. *Journal Sport Sciences*, 16, 1998, pp.165-176
3. **Cochran, A. and Stobbs, J.** *The search for the perfect swing*. Philadelphia, J.B. Lippincott Co. (1968)
4. **Jorgensen, T.** (1994) *The physics of Golf*. New York: American Institute of Physics. AIP Press
5. **Lee, Erikson & Cherveny.** (2002). Measurement of the behaviour of a golf club during the Golf Swing. In Cochran & Farrally, *Science and Gold III: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*. Roulledge, London. Pp. 374-386
6. **Mather, J.S.; Jowett, S.** (2000) Three-dimensional shape of the golf club during the swing. In Subic, A.J. and Haake, S.J. (de) *The engineering of sport: research, development and innovation*. Oxford, Blackwell Science, pp. 459-467
7. **McLaughlin, P.A.** (1994) *Three-dimensional kinematic analysis of the golf swing*. Unpublished Master's minor Thesis: Victoria University of Technology,
8. **Milburn . P.D.** (1982) Summation of segmental velocities in the golf swing. *Medicine and Science in Exercise and Sports*, 14, pp.60-64
9. **Miller, D.I.** (1980) Body segment contributions to sport skills performance: two contrasting approaches. *Res. Q. Exerc. Sport*. 51(1), 219-233
- Neal, R.J. and Wilson, B.D. (1985) 3D kinematic and kinetics of the golf swing. *International J. Sdports Biomechanics*, 1, pp. 221-232
10. **Popov, -G.I.; Yermolayev, -B.-V.** (1996) Structural variability and result of motion. In, Nosek, M. (ed.) et al., *Proceedings of the VIIIth International Symposium of the Society of Biomechanics in Sports*, Prague, Czechoslovakia, Consport Corporation, pp. 135-139
11. **Rheling, C.H.** (1955) Analysis of techniques of the golf drive. *Research Quarterly*, 26, pp.80-81,
12. **Robinson, R.L.**, (1994). A study of the correlation between swing characteristics and club head velocity. In C and Farrally, *Science and Gold III: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*. E&FN Spon, London. Pp. 84-89
13. **Sanders, R.H., and P.C.Owens** (1992) Hub movement during the swing of elite and novice golfers. *International J. of Sport Biomechanics*, 8, pp. 320-330
14. **Springs, E.J.; Neal, R.J.** (2000) An insight into the importance of the wrist torque in driving the golfball: a simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 16 (4), pp. 356-366
15. **Williams, D.** (1983) The dynamics of the golf swing. *Quarterly Journal Mech. Appl. Mathematics*, 20, pp. 247-255
16. **Woltring, H.J.** (1986) A fortran package for generalized, cross-validatory spline smoothing and differentiation. *Adv. Eng. Software*, 8, 2, pp.104-113.