

Dr. José Antonio González Jurado*.

Dr. Edgardo Molina Sotomayor**.

Mg. Danilla Corazza Icassatti***

* *Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. España*

** *Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Chile*

*** *Universidad del Desarrollo – UMCE, Chile*

Fundamentos biomecánicos de la técnica del chut en fútbol: análisis de parámetros cinemáticos básicos

El golpe de pie en el fútbol está considerado como el medio técnico principal para el desarrollo de este deporte. También es la acción más estudiada en la literatura científica. Uno de los enfoques más interesantes en el estudio de este gesto técnico es el enfoque de la eficacia biomecánica. En este trabajo, se presenta una revisión de los aspectos cinemáticos más interesantes y determinantes que tienen relación directa con la eficacia del chut o golpe de pie con el balón estático, utilizando como superficie de contacto el empeine total.

Aspectos generales de las acciones técnicas en el fútbol

El fútbol es por supuesto el deporte más popular en el mundo, con más de 40 millones de jugadores federados y se estima en más de cientos de millones de personas que lo practican (Ekstrand, 1994). Como se sabe, el fútbol es un juego de dos equipos constituidos por 11 jugadores, donde cada equipo intenta introducir la pelota en la portería del oponente, tantas veces como sea posible, en el tiempo permitido. Las reglas están claras, una de ellas es que la pelota debe ser impulsada con cualquier parte del cuerpo excepto con los brazos y con las manos. Esto ha determinado el desarrollo de una variedad de estrategias y habilidades que han ido evolucionado para conseguir el objetivo principal, marcar goles. Sin embargo, el éxito en su realización depende de un gran número de factores, algunos de los cuales son de naturaleza biomecánica. En este trabajo se analizará una de las acciones básicas de este deporte, el golpe de pie al balón o chut.

La biomecánica puede ser usada en algunos deportes para analizar y definir las características técnicas de ejecución y mejorar los conocimientos

sobre los mecanismos más eficaces en cada acción motora, que conduzcan a identificar los factores fundamentales del éxito. Su conocimiento puede ayudar a mejorar el aprendizaje y la ejecución de las acciones técnicas en este deporte.

Una amplia gama de habilidades y gestos técnicos forman parte de los fundamentos básicos y de las acciones en el fútbol. En este trabajo, se centrará su atención en aquella que más frecuentemente ha sido objeto de estudio y análisis biomecánico, como es el caso del chut o el golpe de pie al balón.

Esta habilidad presenta múltiples variantes de ejecución; depende de la velocidad del balón, de la posición de éste, y de la naturaleza y propósito del chut. Lo que más ampliamente ha sido escrito en la literatura, es la velocidad máxima del golpe de pie con el empeine a una pelota detenida. Esencialmente, esto correspondería a un lanzamiento de penalti en el fútbol. En comparación, otras acciones, tales como el saque y las acciones de portería, el pase y el control del balón, el tackle, etc. han recibido mucha menor atención desde la perspectiva científica.

Fundamentación científico-teórica de la técnica del chut en fútbol

1.1. Generalidades.

El golpe de pie al balón, como muchas de las habilidades propias del fútbol, se aprende desde edades muy tempranas, por lo que podría parecer una acción de fácil ejecución, pero la capacidad de golpe madura y eficaz se encuentra en jugadores experimentados, aunque también se observan en ellos algunos patrones incorrectos o al menos diferentes a este fundamento. Además, esta habilidad comienza a mostrar signo de pérdida de eficiencia en situaciones

donde se exige velocidad y precisión. Phillips (1985) investigó la consistencia del golpe de pie en jugadores aficionados y en jugadores de élite. Ambos grupos habían realizado la acción con pequeñas diferencias en variables biomecánicas evaluadas, concluyéndose que los jugadores de elite son más eficaces que los jugadores aficionados.

1.2. La aproximación al balón:

Una característica del golpe de pie en el fútbol es el ángulo de aproximación que el jugador realiza para golpear un balón estático. El efecto del ángulo de aproximación sobre el pie y la velocidad del balón fue investigado por Isokawa y Less (1988). De los seis sujetos varones experimentados de la muestra, éstos requirieron un solo paso de carrera para golpear el balón detenido usando un ángulo de aproximación de 0°, 15°, 30°, 45°, 60° y 90°. Aunque no hubo diferencias significativas en las velocidades del balón entre los ángulos de aproximación, la tendencia de los datos sugirió que la máxima velocidad de la pierna era alcanzada con un ángulo de aproximación de 30° y la máxima velocidad del balón con un ángulo de 45°.

Por lo tanto, un ángulo de aproximación de 30-45° podría parecer óptimo, lo que está en concordancia con lo que los jugadores en la práctica realizan. Este hecho se explica porque una angulación en la aproximación, facilita que la pierna se incline en el plano frontal, permitiendo que el pie pueda situarse más bajo con respecto al balón, realizando así un buen contacto con él.

Se podría esperar, hasta cierto punto, que una amplia y rápida aproximación podría ser beneficiosa en la generación de una alta velocidad del balón. Opavsky (1988) investigó las diferencias entre una aproximación estática y una en carrera cuando se realiza un golpe máximo con el empeine. Reportó que con una aproximación estática la velocidad media máxima del balón fue de 23,5 m/s y de 30,8 m/s en una aproximación en carrera de 5 a 8 pasos. Lamentablemente no se aportaron más datos en este estudio acerca de la velocidad de carrera de los ejecutantes.

1.3. El pie de apoyo

La colocación del pie de apoyo, es otro parámetro importante en el golpe del balón en el fútbol. Malean and Tumilty (1993) informaron que en

jugadores jóvenes de élite el pie se apoya 38 cm detrás del centro del balón, y a 37 cm lateralmente al centro del balón. Desde otros estudios, se indica que el pie de apoyo podría colocarse hasta 5-10 cm del lateral del balón, y en cuanto a la posición antero-posterior, autores como Hay (1985) sugieren que la posición eficiente sería entre 5-28 cm detrás del balón. Pareciendo ser que esta última está en función del tipo de golpe de pie realizado y su intención para obtener una trayectoria baja o alta del balón.

1.4. Parámetros cinemáticos del golpe de pie al balón.

Durante el movimiento del golpe, el pie rota alrededor de ambos ejes (frontal) y longitudinal (vertical) del cuerpo. Por consiguiente, la verdadera cinemática de la acción del golpe sólo puede ser definida completamente usando un análisis tridimensional. A pesar de esto, la mayoría de los datos cinemáticos son los resultados de estudios en un plano sagital bidimensional.

1.4.1. La velocidad del balón tras el golpe de pie.

La velocidad del balón es un parámetro indicador del éxito del chut. En jugadores adultos varones experimentados, la velocidad media máxima del balón está en un rango de 20-30 m/s (Narici et al., 1988; Luhtanen, 1994). Usando una aproximación limitada, Isokawa and Lees (1988) obtuvieron una velocidad media máxima de 12.0-15.5 m/s para niños entre 8-14 años de edad; ello coincide con Luhtanen (1988), quien aportó valores entre 15.0-22.0 m/s para niños y jóvenes entre las edades de 10-17 años. Parece que el nivel de aptitud, la velocidad de aproximación y la edad afectan a la velocidad del balón.

1.4.2. La velocidad del pie ejecutor.

Los valores medios de la velocidad máxima del pie al momento del impacto son generalmente menores que aquellos citados por la velocidad del balón, dentro del rango de 18 a 28 m/s en jugadores varones adultos. Esto da una proporción de la velocidad balón-pie mayor que uno. Asami y Nolte, (1983) defienden que este valor es un indicador de la eficacia del chut, con un máximo valor se indica un mayor nivel de rendimiento. En esencia, esto es una medida de la efectividad de la transferencia de la velocidad del pie a la velocidad del balón y depende de varios factores.

En los golpes con el empeine, las proporciones de velocidad pie-balón han sido informadas en un rango entre 1.06 a 1.29 (Asami y Nolte, 1983). Sin embargo, se requiere precaución al interpretar estos resultados, ya que se debe considerar la superficie de contacto utilizada para calcular los valores para el cociente de la velocidad balón-pie. Se ha observado que mientras el pie está en flexión plantar al impactar con el balón, los dedos del pie alcanzan mayor velocidad que el centro de masas del pie, y que esta última logra una mayor velocidad que la articulación del tobillo. Un gráfico típico de las velocidades comunes lineales para un golpe máximo con el empeine se ve en la Fig. 1. Isokawa y Lees (1988) informan sobre las velocidades del tobillo y de los dedos del pie para un golpe con aproximación corta. Tomando los dedos como indicador de la velocidad del pie, se obtuvo un valor de 1.11 para el cociente de velocidad del balón-pie; usando el tobillo, el valor obtenido fue de 1.65. Se aprecia claramente, que si se toma el centro de masas del pie, se obtendría un valor intermedio.

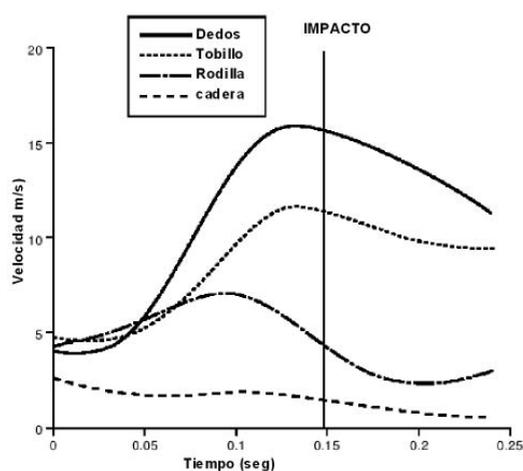


Figura 1: Representación de las velocidades lineales en golpe con el empeine. Modificado de Isokawa y Lees (1988).

Las correlaciones entre el balón y la velocidad del pie son generalmente altas, sugiriendo que la velocidad del pie es un factor significativo en la mecánica del chut en el fútbol. Asami y Nolte (1983) divulgaron una correlación significativa de 0.74 para los jugadores profesionales de fútbol que

realizaban golpes máximos con el empeine; una correlación significativa de 0.52 también fue aportada por Isokawa y Lees (1988) para golpes máximos con el pie, pero con un ángulo de aproximación que variaba entre 0 a 30°.

1.4.3. Velocidades angulares en la extremidad inferior.

Un gráfico típico de las velocidades angulares del muslo y de la pierna se da en la Fig. 2 (Lees, 1996), con cada una de las etapas dominantes indicadas.

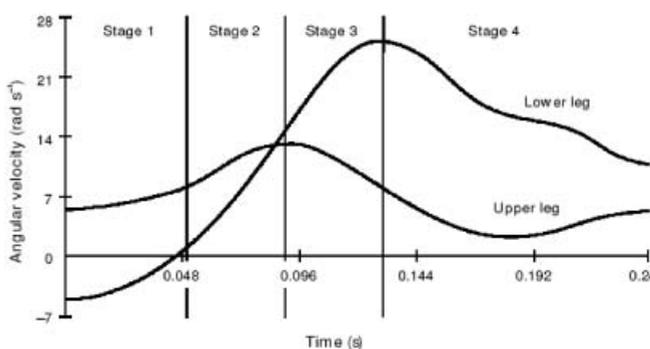


Figura 2. Se representa la velocidad angular del muslo (pierna superior) y de la pierna (pierna más baja) durante un golpe de pie en el fútbol con cada una de las cuatro etapas del chut marcado según lo descrito en el texto. (Tomada de Reilly 1996, p. 126).

La descripción de Wickstrom (1975), de la acción de golpe al balón con el pie sugiere que el muslo llega a estar casi inmóvil en el impacto. Los datos obtenidos para el muslo sugieren que esto no es totalmente cierto. Para los jugadores adultos, las velocidades angulares del muslo obtenidas en el impacto son de 2.8 a 5.4 rad/s (Aitchison y Lees, 1983; Putnam, 1991); Sin embargo, comparado con los 35 radian/s obtenidos por estos estudios para la velocidad angular de la pierna, el muslo parecería estar prácticamente inmóvil.

En la Figura 3 se puede interpretar la progresión de la acción del chut. Se aprecia que, durante la etapa 2, la pierna y el muslo aumentan su velocidad angular, gracias a los músculos de la cadera y del muslo. En la etapa 3, momentos antes del impacto, hay un aumento en la velocidad angular de la pierna y una disminución de la velocidad angular del muslo. Se transfieren los momentos angulares entre los dos segmentos, afectando la velocidad angular de cada uno. Una gran velocidad angular de la pierna da lu-

gar a una alta velocidad del pie, y esto es importante para un golpe de pie eficaz. Se observa que alrededor de la mitad de la velocidad angular de la pierna en el impacto se acumula durante la etapa 2, y la otra mitad parece ser transferida del muslo durante la etapa 3. Por lo tanto, la amplitud de movimiento de la cadera y la rodilla, y la fuerza muscular que se aplica durante la etapa 2, determinará la velocidad máxima del pie en el impacto (Winter, 1990).

Una medida de éxito de la acción del golpe con el pie dominante es la velocidad angular de la extensión máxima de la rodilla, que ocurre momentos antes de impacto. Putnam (1983) encontró una velocidad angular máxima de rodilla de 40.0 radian/s para los jugadores adultos masculinos de fútbol, y Griffiths (1984) divulgó valores de 24.0-29.5 radian/s para las jugadoras femeninas adultas de fútbol. Parece ser que la velocidad angular máxima de la rodilla aumenta con la edad hasta que se alcanza la acción madura del chut (Elliott 1980). Su valor máximo en varones adultos parece ser absolutamente variable.

1.4.4. Otros parámetros cinemáticos no descritos.

Rodano y Tavana (1993) realizaron un estudio tridimensional. Utilizaron un sistema electrónico óptico de 100 hertzios para grabar las posiciones de los marcadores situados en las articulaciones. Encontraron gran coincidencia entre los resultados bidimensionales y tridimensionales para la velocidad lineal de las articulaciones, pero las diferencias más importantes se encontraron en las medidas angulares.

Encontraron que los jugadores podían generar velocidades del balón entre 23 y 30 m/s. No obstante, divulgaron un valor de 19.5 radian/s, para la velocidad angular de la rodilla, que es menor a lo descrito en estudios de dos dimensiones.

Browder et al. (1991) ha descrito las características tridimensionales del golpe de pie en mujeres jugadoras seleccionadas. Además, de medir los movimientos en las dos dimensiones tradicionales de la cadera y flexión-extensión de la rodilla, también aportaron datos para la rotación pélvica y la aducción de la cadera. Demostrando que, al comparar un golpe rápido de pie con un golpe lento (velocidades del balón de 17.0 y 13.5 m/s, respectivamente), se observó un movimiento rotatorio mayor de la pelvis en las pruebas para el golpe más rápido que

para el golpe más lento (18°-13°), lo que sugiere la importancia de este movimiento en la producción de golpes de pie de alta velocidad. Sin embargo, la aducción de la cadera siguió siendo similar en un ángulo aproximado de 19°, aunque no se consignó claramente en los datos el ángulo anteriormente descrito. Browder et al. (1991) sugirieron que la rotación pélvica pudiera ser un método por el cual las jugadoras realzan la velocidad de su golpe de pie. Desafortunadamente, en un estudio relacionado con jugadores masculinos, Tant et al. (1991) no proporcionó datos comparativos. Es probable que los aspectos tridimensionales del chut sean importantes para una comprensión completa de la habilidad de golpear el balón con el pie, y sorprende que éstos no se hayan investigado más detalladamente.

Parámetros que determinan la eficacia del chut

Parece lógico que existe una relación entre la fuerza de músculo y el rendimiento en el golpe de pie en el fútbol, ya que los músculos son directamente responsables de aumentar la velocidad del pie. Tant et al. (1991) atribuyeron la mayor velocidad del balón producida por jugadores masculinos, comparados a las jugadoras femeninas, a su mayor fuerza según lo medido en un dinamómetro isocinético, en este sentido, otros investigadores han divulgado relaciones positivas. Cabri et al. (1988) encontraron una alta correlación entre la distancia del golpe de pie con la fuerza generada por el flexor de la rodilla ($r = 0.77$) y por la fuerza del extensor de la rodilla ($r = 0.74$), según lo medido por un dinamómetro isocinético a una velocidad angular de 3.6 radian/s. También encontraron una relación significativa entre la distancia del golpe y la fuerza medida en el flexor de la cadera ($r = 0.56$) y la fuerza del extensor de la cadera ($r = 0.56$), pero ésta era más baja que para la rodilla.

Resultados similares han sido divulgados por Reilly y Drust (1994) para las jugadoras de fútbol y por Poulmedis et al. (1988) y Narici et al. (1988); ambos utilizaron la velocidad del balón como medida de rendimiento y eficacia. Si la fuerza muscular se relaciona con el rendimiento, entonces el entrenamiento debe demostrar efectos positivos sobre la velocidad o la distancia del balón tras el golpe de pie.

De Proft et al. (1988) encontró que, sobre un programa de entrenamiento específico de fuerza

muscular de la pierna, la fuerza concéntrica del músculo mejoró en un 25% y el rendimiento en el golpe de pie valorado mediante la distancia mejoró un 4%. Las correlaciones entre la fuerza de la pierna y la distancia aumentaron del pre al postest del entrenamiento. Estos resultados demuestran que la fuerza muscular es un factor importante en el rendimiento y precisión de la técnica del chut y se puede mejorar con el entrenamiento apropiado. Sin embargo, se debe resaltar que la mejora en la eficacia y el rendimiento no fue determinada exclusivamente por la mejora en la fuerza muscular, sugiriendo que los factores técnicos siguen siendo importantes, y que a medida que aumenta la fuerza, es necesario continuar desarrollando el control neuromuscular del movimiento.

Por último, la precisión es muy importante en la habilidad de golpear con el pie el balón, pero se sabe que ésta se dificulta y disminuye a medida que la exigencia de velocidad aumenta, *Asami et al.* (1976).

Bibliografía

- Aitchison, I. and Lees, A. (1983). A biomechanical analysis of place kicking in Rugby Union Football. *Journal of Sports Sciences*, 1, 136-137.
- Asai, T., Akatsuka, T. and Kaga, M. (1995). Impact process of kicking in football. In *Proceedings of the XVth Congress of the International Society of Biomechanics*, pp. 74-75. Jyväskylä, Finland, July.
- Asami, T. and Nolte, V. (1983). Analysis of powerful ball kicking. In *Biomechanics VIII-B* (edited by H. Matsui and K. Kobayashi), pp. 695-700. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Asami, T., Togarie, H. and Kikuchi, T. (1976). Energy efficiency of ball kicking. In *Biomechanics V-B* (edited by P.V. Komi), pp. 135-140. Baltimore, MD: University Park Press.
- Bauer, G. (1998). Fútbol: Entrenamiento de la técnica, la táctica y la condición física: planes, ejercicios y juegos, preparación para la competición. Barcelona: Hispanoeuropea.
- Bober, T., Putnam, C. and Woodworth, G.C. (1987). Factors influencing the angular velocity of a human limb segment. *Journal of Biomechanics*, 20, 511-521. 232 .
- Browder, K.D., Tant, C.L. and Wilkerson J.D. (1991). A three dimensional kinematic analysis of three kicking techniques in female players. In *Biomechanics in Sport IX* (edited by C.L. Tant, P.E. Patterson and S.L. York), pp. 95-100. Ames, IA: Iowa State University Press.
- Cabri, J., De Proft, E., Dufour, W. and Clarys, J.P. (1988). The relation between muscular strength and kick performance. In *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W.J. Murphy), pp. 186-193. London: E & FN Spon.
- Ekstrand, J. and Nigg, B.M. (1989). Surface related injuries in soccer. *Sports Medicine*, 8, 56-62.
- Elliott, B.C., Bloomfield, J. and Davies, C.M. (1980). Development of the punt kick: A cinematographical analysis. *Journal of Human Movement Studies*, 6, 142-150.
- Griffiths, G. (1984). A biomechanical analysis of the female soccer kick. Unpublished BSc thesis, Liverpool Polytechnic.
- Hay, J.G. (1985). *The Biomechanics of Sports Techniques*. 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Isokawa, M. and Lees, A. (1988). A biomechanical analysis of the instep kicks motion in soccer. In *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. David and W.J. Murphy), pp. 449-455. London: E & FN Spon.
- Lees, A. (1996). Biomechanics applied to soccer skills. In *Science and Soccer* (edited by T. Reilly), pp. 123-134. London: E & FN Spon.
- Luhtanen, P. (1988). Kinematics and kinetics of maximal instep kicking in junior soccer players. In *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W.J. Murphy), pp. 441-448. London: E & FN Spon.
- Luhtanen, P. (1994). Biomechanical aspects. In *Football (Soccer)* (edited by B. Ekblom), pp. 59-77. Oxford: Blackwell Scientific.
- Narici, M.V., Sirtori, M.D. and Morgan, P. (1988). Maximum ball velocity and peak torques of hip flexor and knee extensor muscles. In *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W.J. Murphy), pp. 429-433. London: E & FN Spon.
- Opavsky, P. (1988). An investigation of linear and angular kinematics of the leg during two types of soccer kick. In *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W.J. Murphy), pp. 460-467. London: E & FN Spon.
- Phillips, S.J. (1985). Invariance of elite kicking performance. In *Biomechanics IX-B* (edited

- by D. Winter), pp. 539-542. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Poulmedis, P. (1985). Isokinetic maximal torque power of Greek elite soccer players. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 6, 293-296.
- Poulmedis, P., Rondoyannis, G., Mitsou, A. and Tsarouchas, E. (1988). The influence of isokinetic muscle torque exercised in various speeds on soccer ball velocity. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 10, 93-96.
- Putnam, C.A. (1983). Interaction between segments during a kicking motion. In *Biomechanics VIII-B* (edited by H. Matsui and K. Kobayashi), pp. 688-694. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Putnam, C.A. (1991). A segment interaction analysis of proximal-to-distal sequential segment motion patterns. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 130-144.
- Putnam, C.A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills -descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, 26, 125-135.
- Reilly, T. (ed.) (1996). *Science and Soccer*. London: E & FN Spon.
- Reilly, T. and Drust, B. (1994). The isokinetic strength of women soccer players. Communication to the 10th Commonwealth and International Scientific Conference, Victoria, Canada, August.
- Reilly, T., Lees, A., Davids, K. and Murphy, W.J. (1988). *Science and Football*. London: E & FN Spon.
- Reilly, T., Clarys, J. and Stibbe, O. (eds) (1993). *Science and Football II*. London: E & FN Spon.
- Robertson, D.G.E. and Mosher, R.E. (1985). Work and power of the leg muscles in soccer kicking. In *Biomechanics IX-B* (edited by D. Winter), pp. 533-538. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Rodano, R. and Tavana, R. (1993). Three dimensional analysis of the instep kick in professional soccer players. In *Science and Football II* (edited by T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe), pp. 357-361. London: E & FN Spon.
- Rodano, R., Cova, P. and Vigano, R. (1988). Design of a football boot: A theoretical and experimental approach. In *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W.J. Murphy), pp. 416-425. London: E & FN Spon.
- Tant, C.L., Browder, K.D. and Wilkerson, J.D. (1991). A three dimensional kinematic comparison of kicking techniques between male and female soccer players. In *Biomechanics in Sport IX* (edited by C.L. Tant, P.E. Patterson and S.L. York), pp. 101-105. Ames, IA: Iowa State University Press.
- McLean, B.D. and Tumilty, D.McA. (1993). Left-right asymmetry in two types of soccer kick. *British Journal of Sports Medicine*, 27, 260-262.
- Wickstrom, R.L. (1975). Developmental kinesiology. *Exercise and Sports Science Reviews*, 3, 163-192.
- Winter, D.A. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. New York: John Wiley.
- Zernicke, R. and Roberts, E.M. (1978). Lower extremity forces and torques during systematic variation of non-weight bearing motion. *Medicine and Science in Sports*, 10, 21-26.