



- ◆ Trabajo realizado por la Biblioteca Digital de la Universidad CEU-San Pablo
- ◆ Me comprometo a utilizar esta copia privada sin finalidad lucrativa, para fines de investigación y docencia, de acuerdo con el art. 37 de la M.T.R.L.P.I. (Modificación del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual del 7 julio del 2006)

CADENA CINÉTICA ABIERTA... CADENA CINÉTICA CERRADA... UNA DISCUSIÓN ABIERTA

OPEN KINETIC CHAIN... CLOSE KINETIC CHAIN... A DISCUSSION OPENED

INTRODUCCION

En el año 1875, Reuleux¹ apunta el origen de los términos CCA y CCC, entendiendo que la combinación de movimientos en varios componentes de un sistema mecánico rígido, interconectado por medio de rótulas, se efectuaba por la transmisión del movimiento inicial de uno a otro elemento, dando origen al termino "cinético" o "cinemática".

Posteriormente se abre una largo periodo de silencio, y no será hasta el año 1955, con Steindler², quien establecerá que "la cadena cinética es una combinación de varias articulaciones que constituyen una unidad mecánica", diferenciando entre la CCA, en la cual, el extremo distal del sistema esta libre, durante el movimiento considerado, y la CCC, en la cual dicho extremo esta sujeto a la acción de una resistencia externa.

En el año 1977³ se produce una nueva revisión del citado autor quien aporta tres posibilidades de actuación ante la citada resistencia externa:

- La resistencia es vencida por la acción muscular y comprime las articulaciones suprayacentes, mientras el segmento mecánico se mueve.
- La resistencia no puede ser vencida, y el segmento superior se moviliza sobre el inferior
- La fuerza muscular desarrollada no consigue vencer la resistencia, ni en la zona proximal ni en la zona distal, y no se produce ningún movimiento.

Los ejercicios en CCC deben ser considerados aquellos en los que el segmento distal encuentra tal grado de resistencia, que se produce una restricción del movimiento, lo cual implicaría que las actividades en CCA se relacionarían con la

generación de velocidad y aceleración, y las actividades en CCC con la producción de fuerza.

El análisis de cualquier actividad física, nos lleva a observar que ambas posibilidades están presentes, en fases consecutivas y que por tanto, una no excluye a la otra.

La discusión actual se centra en poder conocer cual de las dos formas de actividad, tiene mayores ventajas o inconvenientes: las actividades en CCA se presentan como más funcionales- sobre todo a nivel de miembros inferiores, pues reproducen posiciones y gestos relacionados con el equilibrio, la locomoción, etc.

Por otra parte, las actividades en CCA muestran grandes beneficios sobre una articulación, tanto con fines terapéuticos como funcionales. La citada discusión no se centra tanto en las preferencias individuales por una u otra actividad, sino en sus indicaciones, aplicaciones y efectos.

Dillmann⁴ sugiere en 1994 el empleo de varias opciones de trabajo, sin diferenciar entre CCA o CCC:

- Trabajo con carga fija externa, como por ejemplo las sentadillas
- Trabajo con carga variable externa, como por ejemplo, prensas, halterios

Lepahrt y Henry en 1996⁵ proponen establecer una diferencia entre limites fijos o variables, de la carga y la existencia o no de la misma, referidas a ejercicios con los miembros superiores.

Las ultimas aportaciones de Augustsson *et al.*⁶ del año 2000 proponen el empleo de los términos de movimiento articular simple o complejo, según estén involucrada una o varias articulaciones.

J. A. Martín
Urrialde¹

J. Mesa
Jiménez²

¹Profesor Titular
Fisioterapia

²Profesor
Colaborador
Departamento
de Fisioterapia.
Facultad de
Medicina.
Universidad
San Pablo CEU

CONSIDERACIONES INICIALES

El análisis de la literatura científica actual, permite establecer que la diferenciación entre los conceptos de CCA y CCC, debe efectuarse sobre la importancia que las mismas tienen en las actividades diarias, el papel jugado por las fuerzas de compresión y cizallamiento intercurrentes y el control sensoceptivo que lo rige⁷.

Ambas actividades están presentes en muchos movimientos y gestos laborales, deportivos, de ahí que primar uno sobre otro pueda parecer insolvente, pues es difícil asociar un gesto con uno solo de los patrones citados de CCA o CCC.

Desde una consideración pato mecánica, las fuerzas de compresión y cizallamiento están presentes en todas las actividades motrices, efectuadas en contra o a favor de la gravedad. Lutz *et al.*⁸, aprovechan este dato para indicar que aquellas actividades en las cuales las fuerzas cizallantes predominan son las de CCA y en cambio, cuando son las fuerzas de compresión las más activas, hablar de CCC. Sin embargo, un detallado análisis cinemático de cualquier gesto, nos hace ver que ambas fuerzas se originan a partir de acciones musculares y que por lo tanto, la separación propuesta es más teórica que real.

Una vía de abordaje inicial de esta discusión, se centro en el estudio efectuado por Beynnon *et al.*⁹ en 1997, sobre el ligamento cruzado anterior de la rodilla, midiendo "in vivo" las tensiones soportadas por el mismo mediante galgas de presión intraarticulares.

Los resultados obtenidos no muestran diferencias significativas en los valores de tensión ligamentosa en ejercicios de CCA o CCC, que involucraban flexo-extensión de la rodilla y que cuantificaban el valor de la traslación tibial anterior.

Jurist y Otis¹⁰ señalan que los valores de traslación tibial anterior en las sentadillas, dependen de la longitud del brazo de palanca y del ángulo de flexión, más que del valor de carga con el cual el sujeto trabaja.

La visión neurofisiológica de esta discusión se centra en aceptar que los ejercicios en CCA son aquellos en los que un músculo o grupo muscular actúa sobre una sola articulación, en tanto que los ejercicios en CCC suponen el trabajo en varias articulaciones y la activación de co-contracciones de músculos sinergistas y antagonistas, con fines estabilizadores, en función de la carga impuesta al sistema mecánico que consideremos, entendiendo como tal, el conjunto de articulaciones involucradas en el movimiento.

Dos estudios muy relevantes de Barata y Solomonov¹¹ y el de Draganich y Pager¹² muestran que las mayores activaciones se producen al final de la flexión, en ejercicios en CCC y la final de la extensión en CCA, con valores electromiográficos muy similares. Al valorar la actividad de los antagonistas, comprueban que la activación de los isquiotibiales se produce al inicio del ejercicio en CCC y al final del mismo en CCA.

Estas mismas apreciaciones son confirmadas por los estudios de Blackard y Jensen¹³, y Escamilla *et al.*^{14, 15, 16}.

DISCUSION

La discusión sobre la aplicación de ejercicios en CCA o CCC dentro de los protocolos de fisioterapia ha sufrido cambios durante la pasada década. Los ejercicios en CCA estuvieron desde sus orígenes relacionados con los periodos precoces de tratamiento, en tanto que los ejercicios en CCC, aparecían en los periodos finales, como expresión de una elevada competencia funcional del sujeto, sin que estas apreciaciones pudieran ser evidenciadas por estudios relevantes.

Una segunda vía de discusión surge sobre la seguridad y funcionalidad de los ejercicios en CCC frente a los de CCA, como señala Fitzgerald¹⁷, pero con la limitación derivada de que su empleo se centre en lesiones de los miembros inferiores, y sobre todo de la rodilla^{18, 19, 20}, y raramente se encuentran investigaciones que afecten a la cadera o el tobillo²¹.

En el análisis efectuado sobre la eficacia de uno u otro método, los resultados han sido coincidentes en señalar que no existe una clara supremacía de uno sobre otro.

Así en el estudio de Byunn *et al.*²², como en el de Morrissey *et al.*²³, que tratan de establecer cual de las dos opciones preferible para las lesiones del ligamento cruzado anterior, tras reparación quirúrgica, encuentran de modo coincidente una mínima ventaja de los ejercicios en CCC, tras 19 meses de seguimiento postoperatorio, comprobando mediante medida instrumental de la laxitud anterior de la rodilla.

Mikkelsen *et al.*²⁴ concluye en su estudio prospectivo que el trabajo mixto CCA/CCC presenta mayores ventajas sobre la estabilidad articular de la rodilla, que el trabajo simple de uno u otro modo.

Witvrouw *et al.*²⁵ manifiestan mejoras estadísticamente significativas en la evolución de la estabilidad patelar, en sujetos afectados de síndromes patelofemorales, tras un periodo de 5 semanas de trabajo mixto CCA/CCC, frente a los grupos control sometidos uno u a otro modo, por separado, que no mostraron cambios.

Los métodos científicos utilizados para averiguar los efectos del trabajo con cadenas cinéticas varían desde el modelo matemático, sobre ejercicios de sentadilla, de Lutz *et al.*⁸ hasta los estudios en cadáver que señalan que la compresión ejercida sobre la articulación tibiofemoral, en simulaciones de CCC, reduce el componente de traslación anterior y por lo tanto previene las lesiones del ligamento cruzado anterior, expuesto en los estudios de Hshie y Walker²⁶ y en los de Markoff²⁷.

Precisamente la presencia de estudios en cadáver o simulados, obliga a la siguiente fase de la discusión, referente a la falta de estudios sobre los mecanismo de control neuromuscular

La preferencia de ejercicios en CCC, y sobre todo al valoración de su seguridad, derivo en primer lugar de estudios de EMG que mostraban la presencia de co-activaciones cuádriceps-isquiotibiales, durante los ejercicios de sentadillas,

como ya estableció en sus estudios Escamilla^{14, 15},¹⁶ y Fitzgerald¹⁷, quienes abogan por considerar esta co-activación como un mecanismo normal.

Ernst G, Salibu D, Diduch S y Hurwitz D²⁸ plantean en su trabajo considerar la "paradoja de Lombard", enunciada en 1903 y durante años olvidada, según la cual, durante la extensión de rodilla, son activados los isquiotibiales y glúteos, tomando como punto de acción el apoyo plantar y añadiendo la extensión de cadera: la co-activación antes citada, aceptando la "paradoja de Lombard" sería un mecanismo de compensación y no un patrón normal de movimiento, punto este de concordancia con el trabajo de Osternig L, Ferber J y Mercer D²⁹ y que se opondría a las tesis de Escamilla.

Si bien las consideraciones biomecánicas y neurológicas han sido las mas postuladas en la defensa o rechazo de los modos de trabajo CCA y CCC, los aspectos metabólicos empiezan a ser tomados en cuenta a partir de los trabajos de Miltner *et al.*³⁰, quienes en un estudio isocinético, utilizando velocidades de 60°/s y 180°/s, observan una disminución de la pO₂ intra-articular. Esta situación es muy peligrosa para el cartilago, pues la hipoxia inicial es seguida de una reperfusión que elimina gran cantidad de catabolitos, sobre todo radicales libres³¹, causantes de sinovitis reactivas observadas tras ejercicios en CCA.

En relación con la correcta terminología, encontramos profundas contradicciones, ya que se asume que los ejercicios en CCA impone que el segmento distal sea móvil, y los ejercicios en CCC, imponen que el mismo segmento distal se halle fijo a una superficie, sin embargo, en la practica cotidiana, los ejercicios en CCC implican que el sujeto ejerce una resistencia contra el suelo, p.ej, sentadilla, ciclo ergómetro.

Un reciente trabajo de Irgang y Neri³² aboga por el abandono de los términos CCC y CCA, debido a las razones antes expuestas y a la gran imprecisión que los mismos arrojan, en el momento de analizar un gesto funcional. La propuesta pasa por el uso de términos que relacionen ejercicio y numero de articulaciones involu-

cradas en el mismo, apareciendo la denominación de "ejercicios mono-articulares" y "ejercicios multi-articulares".

Sin embargo sería preciso aun añadir otras calificaciones complementarias a los mismos, según el objetivo al cual se destina: test, entrenamiento o terapia, abordando así los tres caracteres fundamentales de cualquier actuación cinética, como son la valoración, la prevención y el tratamiento, respectivamente.

CONCLUSIONES

- Existen suficientes indicios para justificar el abandono de los términos "Cadena Cinética Abierta o Cerrada" y sugerir el cambio a "Ejercicios Mono o Multi articulares, para adecuar el uso de estos a los objetivos terapéuticos, funcionales o valorativos, de grupos musculares y articulaciones.
- Ambos metodologías no son excluyentes, sino que en el ámbito del diseño de una Programa de Actuación Fisioterápica, tienen ambos aplicación, en diferentes periodos del

mismo y en función de los objetivos perseguidos.

- Es preciso la elaboración de futuros proyectos de investigación que aborden la clasificación de los ejercicios utilizados, en función de la activación muscular, de la reducción de fuerzas que actúen sobre las articulaciones implicadas y ligamentos.

RESUMEN:

El uso de ejercicios en fisioterapia que involucran diferentes elementos articulares, partes de cadenas cinéticas, mantiene abierto el debate sobre el uso de los mismos en cadena cinética abierta (CCA) o cadena cinética cerrada (CCC).

Diferentes estudios analizados en esta revisión demuestran que no existen diferencias sustanciales en orden a recomendar o procribir el uso de uno u otro método, si bien son numerosas las consideraciones de tipo empírico, que lo hacen.

Palabras clave: Cadena, Cinética, Fuerza

SUMMARY:

Exercises used in physiotherapy involve different joints, as part of kinetic chains, maintaining a discussion about use and application of exercises in Closed Kinetic Chain (CCC) or well Open Kinetic Chain (CCA)

Different studies included in this review, shows no differences in order to recommend or not use of each one exercise mode, if.

Key words: Kinetic, Chain, Strength

B I B L I O G R A F Í A

1. **Reuleux F.** *Theoretische Kinematic-Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens.* Verlag Vieweg Braunschwig. 1875.
2. **Steindler A.** *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions.* Springfield: Charles Thomas Ed. 1955.
3. **Steindler A.** *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions.* Springfield: Charles Thomas Ed. Revision of previous edition. 1977.
4. **Dillman J, Murray T, Hintermesiter R.** Biomechanical differences of open and close kinetic chain exercises with respect to shoulder. *J Sports Rehab* 1994; 3:228-38.
5. **Lephart S, Henry T.** The physiological basis for open and closed kinetic rehabilitation of the upper extremity. *J Sports Rehab* 1996; 5:71-87.
6. **Augustsson J, Thome R.** Ability of closed and open kinetic chain test of muscular strength to asses functional performance. *Scand J Med Sci Sports* 2000; 10:164-8.
7. **Davies G, Heiderscheit B, Schulte R, Manshe R.** The scientific and clinical rationale for the integrated approach to open and closed kinetic chain rehabilitation. *Orthop Phys Ther Clin North Am* 2000; 9:247-67.
8. **Lutz G, Palmitier K, Chao Y.** Comparison of tibiofemoral joint forces during open kinetic chain and closed kinetic chain exercises. *JBJS* 1993;75A:732-9.
9. **Beynon B, Johanson B, Fleming C, Stankewich P, Renstrom P.** The strain behaviour of the anterior cruciate ligament during squatting and active flexion-extension: a comparison of open and closed kinetic chain exercise. *Am J Sports Med* 1997;25:823-9.
10. **Jurist K, Otis C.** Anteroposterior tibiofemoral displacement during isometric extension efforts. The roles of external load and knee flexion angle. *Am J Sports Med* 2000;30:254-8.

11. **Baratta R, Solomonov B, Zhou B, et al.** The role of antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med* 1998;26.
12. **Draganich L, Jaeger R, Kraalij A.** Coactivation of the hamstrings and quadriceps during extension of the knee. *JBJS* 1989;71A:1075-81.
13. **Blackard D, Jensen R, Ebben P.** Use of EMG analysis in challenging kinetic chain terminology. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:443-8.
14. **Escamilla R, Fleisig G, Zheng N, Wilk K, et al.** Biomechanics of the knee during closed kinetic and open kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:556-69.
15. **Escamilla R, Fleisig G, Zheng N, Lander J, et al.** Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1552-66.
16. **Escamilla R.** Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:127-41.
17. **Fitzgerald G.** Open versus closed kinetic chain exercise: issues in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstructive surgery. *Phys Ther* 1997;1747-54.
18. **Ellenbecker T.** *Closed Kinetic Chain exercise.* Champaign: Human Kinetics 2001.
19. **Tang S, Chen T, Hsu S, Chou V.** Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercise, in patients with patellofemoral syndrome. *Arch Phys Med Rehab* 2001;82:1441-5.
20. **Wilk K, Andrews J.** The effects of pad placement and angular velocities on tibial displacement during isokinetic exercise. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003;27:23-30.
21. **Seto J, Brewster C.** Treatment approaches following foot and ankle injury. *Clin Sports Med* 1994;13:695-718.
22. **Byunn E, Barrack R, et al.** Open versus closed chain kinetic chain exercises after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study. *Am J Sports Med* 1995;23:401-6.
23. **Morrisey M, Hudson W, Drechsler F, et al.** Effects of open versus closed kinetic chain training on knee laxity in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 2000;8:343-8.
24. **Mikkelsen C, Werber S, Eriksson E.** Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercise for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 2000;8:337-42.
25. **Witvrow E, Lysens R, Bellemans J, et al.** Open versus closed kinetic chain exercises for Patellofemoral Pain: A Prospective, Randomized Study. *Am J Sports Med* 2000;28:687-94.
26. **Hshie H, Walker P.** Stabilizing mechanisms of the loaded and unloaded knee joint. *JBJS* 1996;78.
27. **Markoff K, Gorek J, Kabo M.** Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament. An in vitro study performed with a new experimental technique. *JBJS* 2000;82.
28. **Ernts G, Saliba E, Diduch S, Huewitz S, Ball D.** Lower extremity compensation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther* 2000;80:251-60.
29. **Osternig L, Ferber R, Mercer J, Davis H.** Human hip and knee torque accommodation to anterior cruciate ligament dysfunction. *Eur J Appl Physiol* 2000;83:71-6.
30. **Miltner O, Schneider U, Graf J, Nithard U.** Influence of isokinetic and ergonomic exercises on oxygen partial pressure measurement in human knee joint. *Oxygen transport to tissue XVIII.* New York: Nemoto La Manna, Plenum Press 1997;183-9.
31. **Sing D, Nazath K, Fairburn T, et al.** Electron spin resonance spectroscopic demonstration of the generation of reactive oxygen species by diseased human synovial tissue following ex vivo hypoxia-reoxygenation. *An Rheum Dis* 2005;64:90.
32. **Irgang J, Neri R.** The rationale for open and closed kinetic chain activities for restoration of proprioception and neuromuscular control following injury. *Proprioception and Neuromuscular control in joint stability.* S.M. Lephart and F.H. Fu. Human Kinetics 2000;363-74.

Correspondencia: J.A.Martin Urrialde. Dpto. Fisioterapia. Facultad de Medicina. Universidad San Pablo CEU. Tutor 35. 28008. Madrid. España
e-mail: jamurria@ceu.es

Aceptado: 10-05-2006 / Formación continuada nº 181