

Article

Términos “Aeróbico y Anaeróbico” Utilizados en Fisiología del Ejercicio - Una Reflexión Crítica sobre la Terminología

Karim Chamari¹ y Johnny Padulo^{2,3}

¹*Athlete Salud y Centro de Investigación de Actuación, ASPETAR, Qatar Orthopaedic y Hospital de Medicina de Deportes, Doha, Qatar.*

²*University e-campus, Vía Isimbardi, 10-22060 Novedrate, CO, Italia.*

³*Tunisian Investigación Laboratorio Deportes Actuación Optimización", el Centro Nacional de Medicina y Ciencia en los Deportes, Tunis, Túnez.*

El propósito de este artículo de Opinión Actual es enfocarnos en el uso apropiado en medicina deportiva de los términos ejercicio “aeróbico” y “anaeróbico”, para intentar unificar su uso por parte de los entrenadores/atletas y científicos del deporte. A pesar de la alta calidad de la mayoría de las investigaciones, los términos aeróbico/anaeróbico siguen siendo utilizados inadecuadamente por algunos investigadores de las ciencias del ejercicio. Por ejemplo, hasta finales de 2014, en PubMed se citaron 14883 y 6136 artículos, pertenecientes al campo de “la ciencia del ejercicio”, que utilizaron las palabras “aeróbico” y “anaeróbico”, respectivamente. En este sentido, algunos autores todavía emplean mal estos términos. Por ejemplo, nosotros creemos que es erróneo clasificar un esfuerzo como “ejercicio láctico anaeróbico” cuando también están involucradas simultáneamente otras vías metabólicas. Se ha demostrado extensivamente que la contribución de las vías metabólicas depende principalmente, tanto de la intensidad como de la duración del ejercicio. Por consiguiente, buscamos aclarar este punto crucial y simplificar esta terminología para los entrenadores y científicos deportivos. En este sentido, discutiremos algunos artículos de investigación con respecto a la terminología que se utiliza para describir las vías metabólicas predominantes activas en diferentes duraciones de ejercicio, y la excesiva simplificación que esto introduce. En conclusión, nosotros sugerimos que los científicos deportivos y los profesionales del campo deben usar los siguientes términos para referirse a esfuerzos máximos (*all out effort*) sobre la base de la *duración del ejercicio*: (a) “Esfuerzos Explosivos” (con una duración de hasta 6 segundos, con preponderancia de la vía metabólica de los fosfágenos); (b) “Esfuerzos de Alta Intensidad” (esfuerzos que abarcan de >6 s hasta 1 min, con preponderancia de la vía glucolítica), y (c) “Esfuerzos de Resistencia de Alta Intensidad” (para las series de ejercicio que tienen una duración superior a 1 min, con preponderancia de la vía de la fosforilación oxidativa).

Puntos claves

- Discutiremos el uso apropiado de los términos “aeróbico y anaeróbico” en las Ciencias del Ejercicio.
- Las contribuciones metabólicas para el ejercicio no pueden ser separadas o categorizadas tan facialmente; por consiguiente, es aconsejable evitarlas al momento de nombrar los esfuerzos físicos.
- Los esfuerzos máximos (*all out*) podrían ser categorizados en “Explosivos”, “Alta Intensidad” o “de Resistencia de Alta Intensidad” sobre la base de su duración.

ANTECEDENTES

La ciencia deportiva y la práctica deportiva en el campo están vinculadas estrechamente. De hecho, a menudo los investigadores están inspirados por el rendimiento deportivo y los sucesos de entrenamiento, mientras que los profesionales del deporte (atletas, entrenadores, médicos, fisioterapeutas..) utilizan extensivamente la ciencia deportiva en su práctica diaria. Idealmente, ambos lados deberían utilizar términos comunes para evitar cualquier equivocación que podría traducirse, entre otras cosas, en un entrenamiento inapropiado. En tal sentido, en 1978, Knuttgen [1] publicó un estudio pionero que propuso el término “intensidad” para describir la dureza con que el ejercicio se realiza o se percibe como porcentaje de la carga externa. Unos 30 años después, un libro publicado por Winter y MacLaren [2] resaltó este paradigma utilizando “ejercicio de intensidad máxima” para describir la fisiología del ejercicio relacionada con la contribución del metabolismo aeróbico/anaeróbico para el suministro de energía. En este contexto, nosotros creemos que describir esfuerzos/ejercicios sobre la base de su “vía fisiológica” podría provocar errores. De hecho, muchos autores describen el ejercicio de corta duración como “anaeróbico” [3-6] y los esfuerzos más largos como “aeróbicos” [3-7]. No obstante, la fisiología del ejercicio ha evolucionado durante la última década, y la tecnología ha hecho contribuciones que nos han permitido evolucionar desde las bolsas de Douglas en el laboratorio hasta los analizadores de gases portátiles en el campo para evaluar las respuestas cardiorrespiratorias frente al ejercicio [8]. Además, los métodos invasivos como las biopsias musculares permiten a los investigadores determinar la cinética del metabolismo aeróbico/anaeróbico durante el ejercicio [9,10].

Luego, los analizadores de lactato sanguíneo portátiles y económicos [11] permiten a los investigadores medir fácilmente el lactato (un metabolito de la glucólisis) y determinar la magnitud de la contribución “anaeróbica” frente al ejercicio en el campo en segundos [12]. A pesar de eso, algunas publicaciones recientes aún utilizan nomenclaturas que no están actualizadas [13].

Por lo tanto, el propósito del presente ‘Artículo de Opinión Actual’ es resaltar los errores que se encuentran por detrás de una nomenclatura en particular. Esto nos ayudará a estandarizar la terminología utilizada en las publicaciones de los científicos de todo el mundo. En tal sentido, la terminología aeróbico/anaeróbico en las ciencias deportivas (Figura 1) presenta algunos problemas por las siguientes razones:

- (a) El término “anaeróbico” está mal interpretado; algunos piensan que hace referencia a la ausencia de O₂. El término “aeróbico” también parece implicar la ausencia de cualquier contribución “anaeróbica”.
- (b) Las contribuciones metabólicas al ejercicio no pueden ser fácilmente separadas o categorizadas.
- (c) La intensidad del ejercicio impacta fuertemente en la contribución metabólica de las vías energéticas; por lo tanto es necesario realizar una aclaración al respecto.
- (d) Algunos profesionales del deporte podrían tener pocos “conocimientos básicos de fisiología” y, por consiguiente, esto incrementa la probabilidad de que utilicen erróneamente algunos términos y conceptos en sus prácticas de campo.

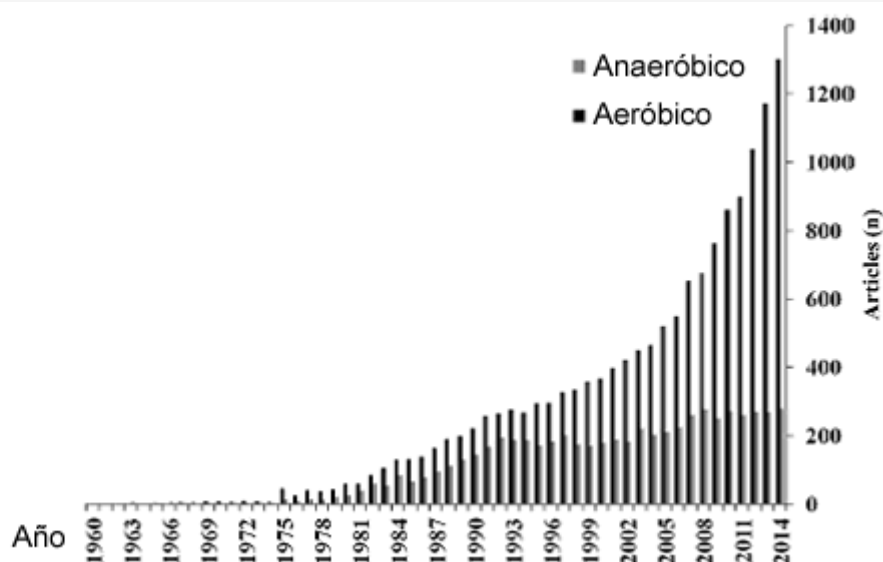


Figura 1. Uso de los términos “aeróbico” y “anaeróbico” en las ciencias del ejercicio en Pubmed a partir de diciembre de 2014.

En los últimos años, diferentes publicaciones importantes han desafiado conceptos previos lo que ha provocado un cambio en las opiniones y en los descubrimientos. Por ejemplo, Racz et al. (2002) [14] investigaron la contracción muscular y aportaron nuevos datos a la visión de contracción muscular presentada por Hill en 1938 [15]. En el mismo contexto, varios artículos recientes mencionados en este “Artículo de Opinión Actual” nos han permitido “considerar” los esfuerzos de una manera diferente a la manera en que ellos descriptos por primera vez hace algunas décadas.

Es importante destacar que el metabolismo “anaeróbico” no es una vía que funciona en de ausencia oxígeno sino que “no utiliza oxígeno”. Por lo tanto el “metabolismo anaeróbico” que transforma el adenosín trifosfato (ATP) y la fosfocreatina (CrP) no debe ser llamado “anaeróbico” sino “independiente de oxígeno o no-mitocondrial” [16]. Así, en lugar de llamarlo “vía aláctica anaeróbica”, debe ser llamada “vía de los fosfágenos”. De manera similar, la “glucólisis” simplemente debe remplazar a la “vía láctica anaeróbica”, porque nuevamente, aunque no está directamente involucrado en esta vía, el oxígeno todavía está presente. En la tercera vía metabólica energética, la “fosforilación oxidativa” se debe remplazar al termino “vía aeróbica”. Además, en el laboratorio, los intentos para cuantificar las contribuciones de los metabolismos anaeróbico/aeróbico están ensombrecidos por desafíos técnicos y teóricos que han sido abordados consecutivamente por varios grupos de investigación [7, 10, 17]. Por ejemplo, Medbo et al. (1988) presentaron un método para evaluar la capacidad del metabolismo anaeróbico [17]. Este método, aunque está basado en una teoría legítima, ha sido criticado por el hecho que durante el VO_{2max} la relación potencia/ VO_2 no se mantiene lineal [17,18].

DISCUSION

Los esfuerzos máximos muy cortos (con una duración inferior a 1 segundo y hasta 6 segundos) no sólo dependen de la vía de los fosfágenos si no que también dependen parcialmente de la glucólisis [19, 20]. Por ejemplo, un solo esprint “máximo” de 6 segundos se realiza con aproximadamente la mitad de energía proveniente de los “fosfágenos” y la otra mitad proveniente de la vía glucolítica [20]. Este hallazgo de Gaitanos et al. [20] se publicó hace más de 20 años, y creemos que es tiempo de tenerlo en cuenta para entender los esfuerzos “máximos” cortos. Estos esfuerzos implican series de ejercicios durante las cuales el atleta intenta alcanzar el mayor rendimiento posible durante una duración de esfuerzo pre-determinada [21]. Por consiguiente, en lugar de llamar estos esfuerzos como “ejercicios alácticos anaeróbicos, deberían llamarse, por ejemplo, “esfuerzos de alta intensidad de corto plazo o, de modo más resumido, “esfuerzos explosivos”. Estos esfuerzos explosivos se realizan en producciones de potencia aproximadamente seis veces superiores a la “potencia aeróbica máxima (MAP; que discutiremos mas detalladamente luego)” [2]. Es más, algunos años atrás, los esfuerzos máximos mas largos con una duración inferior a 1 min eran descriptos como “anaeróbicos”; una afirmación basada en (a) una ecuación teórica [22] y (b) en el consumo de oxígeno medido durante el primer minuto del ejercicio [23]. Sin embargo, Spencer et al. [21], entre otros, demostraron contribuciones anaeróbicas/aeróbicas mixtas en diferentes duraciones de ejercicio (de 20 a 234 segundos) que correspondían a distancias de carreras que iban de 200 a 1500 m. Diferentes autores

[6, 7] demostraron que incluso en esfuerzos máximos muy cortos realizados en el campo y en el laboratorio había una contribución significativa de la “fosforilación oxidativa” (también llamada “metabolismo aeróbico”) [16]. En particular, esta contribución relativa se incrementaba aun más cuando los sprints se repetían [24].

En el campo, los esfuerzos de resistencia se describen a menudo como “aeróbicos”. Sin embargo, el ejercicio completamente aeróbico no existe porque en los esfuerzos se utiliza un mínimo de intensidad. En este contexto, es incorrecto llamar “test aeróbico” al “test de referencia” que se utiliza para evaluar la capacidad / aptitud aeróbica, es decir, al “test de consumo de oxígeno máximo (VO_{2max})”. En este sentido, estudios recientes desafían el concepto de VO_{2max} después de que modificaciones al protocolo de evaluación permitieran encontrar diferentes valores de VO_{2max} [25]. De hecho, uno de los criterios para alcanzar el *plateau* de VO_{2max} es alcanzar un valor mínimo de lactato de 6 a 9 mmol L⁻¹ (dependiendo de los autores y de la edad de los sujetos). Esto demuestra claramente una participación significativa de la “glucólisis” antes de la finalización del ejercicio. Esto no es sorprendente, dado que un esfuerzo máximo al final de un “test de VO_{2max} ” se produce en intensidades muy por encima del segundo umbral ventilatorio (qué también se describe como umbral de compensación respiratorio [26]). Por consiguiente, nosotros creemos que es necesario describir que es lo que se está evaluando con cada ejercicio para evitar describir erróneamente cual es la vía metabólica particular que está involucrada. Por ejemplo, para describir un resultado de test incremental (VO_{2max}), uno no puede hablar de “velocidad aeróbica máxima” alcanzada, si no que de la “velocidad pico alcanzada en el VO_{2max} ” o “ $v_{pico}VO_{2max}$ ” tal como lo hace Billat et al. [27].

Además se han observado faltas de cuantificación de la contribución de la energía anaeróbica [2] para diferenciar el porcentaje de metabolismo anaeróbico contra metabolismo aeróbico durante un esfuerzo. Para llenar este vacío, hace 40 años, Hermansen propuso por primera vez, una estimación indirecta de la capacidad anaeróbica a través de la valoración del “déficit de oxígeno acumulado máximo (MAOD)” basada en mediciones de ejercicios de intensidad máxima y de intercambio gaseoso [28]. Varios años después, el método MAOD fue utilizado por Mebdou et al. [17], aunque este método también plantea algunos pequeños problemas metodológicos (mencionados arriba), en la actualidad es posible estimar las contribuciones anaeróbicas y aeróbicas para el ejercicio. En tal sentido, frecuentemente también se ha sugerido que “el metabolismo aeróbico” contribuye con la provisión de energía para el ejercicio varios segundos/minutos después del comienzo del ejercicio. Sin embargo, Granier et al. (1995) observaron que para un ejercicio máximo de 30 segundos (test de Wingate, presentado previamente como una metodología para evaluar la capacidad anaeróbica [29]), la contribución de esta vía varía entre 28% a 45% de la producción de energía total (dependiendo del perfil de los atletas [7]), lo que nuevamente nos aporta un nombre equivocado en la fisiología/valoración del ejercicio [2]. Además, durante una carrera máxima de 400-m de aproximadamente 52 segundos, los últimos 20 segundos de esfuerzo se realizan en el VO_{2max} , lo que demuestra que la activación de “la fosforilación oxidativa es mucho más rápida que lo que se pensaba previamente [21]. Hoy, se acepta que la provisión de energía para cada esfuerzo depende de la participación simultánea de las tres vías de energía y que una vía predominante trabaja por encima de las otras [21]. Por consiguiente, la descripción de los esfuerzos no debe basarse en sus “procesos fisiológicos”, si no que debe ser denominada en función de su duración/intensidad. Más específicamente, para “esfuerzos máximos” (el esfuerzo máximo para la duración pre-determinada), nosotros proponemos la siguiente nomenclatura:

1. “Esfuerzos explosivos”: ejercicios máximos con una duración de hasta 6 segundos (predominio de la “vía de los fosfágenos”).
2. “Esfuerzos de alta intensidad”: esfuerzos máximos con una duración de 6 segundos a 1 min [21] (con predominio de la “vía glucolítica” además de la “vía de los fosfágenos” y de la “fosforilación oxidativa”); y finalmente,
3. “Esfuerzos de Resistencia de Alta Intensidad: ejercicios con una duración superior a 1 min (predominio de la “fosforilación oxidativa”).

Es necesario proponer otras definiciones para el ejercicio de intensidad submáxima. En tal sentido, el paradigma de metabolismo aeróbico y anaeróbico debe ser investigado con mayor detalle y ambos sistemas se complementan uno con otro. De hecho, frecuentemente se piensa que en el caso de “aeróbico” se utiliza oxígeno, mientras que en el caso de “anaeróbico” no se utiliza oxígeno. Por lo tanto cualquier mal uso de los términos puede conducir a conceptos engañosos y malos entendidos para los lectores, y errores potenciales en el campo de la prescripción del entrenamiento. Pensamos que algunos otros conceptos de la fisiología del ejercicio en la *ciencia deportiva* necesitan una aclaración similar, y pedimos a los colegas especialistas que aclaren estos puntos en declaraciones de consenso general relevantes. Esto ayudaría a que las ciencias deportivas y la ciencia del ejercicio evolucionen en la dirección correcta, utilizando terminología adecuada que permita que los científicos, entrenadores, profesores y estudiantes hablen el mismo idioma [30].

CONCLUSIONES

En resumen, en lugar de llamar esfuerzo físico a algo relacionado con las vías fisiológicas “aeróbicas” y/o “anaeróbicas”, aun cuando se necesiten estudios de investigación adicionales para mejorar nuestra propuesta, nosotros sugerimos que los científicos deportivos deben usar los siguientes términos para esfuerzos *máximos (all-out)* sobre la base de la *duración del ejercicio*:

1. Esfuerzo explosivo (duración de hasta 6 segundos)
2. Esfuerzo de alta intensidad (esfuerzos comprendidos entre 6 segundos y 1 minuto)
3. Esfuerzos de resistencia de alta intensidad (para las series de ejercicio con una duración superior a 1 min)

Intereses de competencia

Los autores declaran que no poseen intereses de competencia.

Contribuciones de autores

Tanto KC y JP contribuyeron con este manuscrito. Los autores leyeron y aprobaron el escrito final.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Ms Sobro Hommoudi y Govin Trovers por la revisión del idioma en que se publicó el manuscrito.

REFERENCIAS

1. Knuttgen .. (1978). Force, work, power, and exercise. *Med Sci Sports*.10(3):227-8.
2. Winter E.M., MacLaren D.P. (2009). Assessment of maximal-intensity exercise. In: *Eston R, Reilly T, editors. Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual Volume 2: Physiology (third edition)*. Routledge: Abingdon. p. 307-33.
3. Chaouachi A., Coutts A.J., Chamari K., Wong D.P., Chaouachi M., Chtara M., et al. (2009). Effect of Ramadan intermittent fasting on aerobic and anaerobic performance and perception of fatigue in male elite judo athletes. *J. Strength Cond. Res.* 23(9):2702-9.
4. Chtourou H., Hammouda O., Chaouachi A., Chamari K., Souissi N. (2012). The effect of time-of-day and Ramadan fasting on anaerobic performances. *Int. J. Sports Med.* 33(2):142-7.
5. Rodriguez-Marroyo J.A., Garcia-Lopez J., Chamari K., Cordova A., Hue O., Villa J.G. (2009). The rotor pedaling system improves anaerobic but not aerobic cycling performance in professional cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.*106(1):87-94.
6. Billat V., Renoux J.C., Pinoteau J., Petit B., Koralsztein J.P. (1995). Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at VO₂ max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. *Arch. Physiol. Biochem.*103(2):129-35.
7. Granier P., Mercier B., Mercier J., Anselme F., Prefaut C. (1995). Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur. J. App. Physiol. Occup. Physiol.* 70(1):58-65.
8. McLaughlin J.E., King G.A., Howley E.T., Bassett Jr. D.R., Ainsworth B.E. (2001). Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *Int. J. Sports Med.*22(4):280-4.
9. Bangsbo J., Gollnick P.D., Graham T.E., Juel C., Kiens B., Mizuno M., et al. (1990). Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J. Physiol.*422:539-59.
10. Bangsbo J. (1996). Oxygen deficit: a measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *Can J Appl Physiol.* 21(5):350-63.
11. Baldari C., Bonavolonta V., Emerenziani G.P., Gallotta M.C., Silva A.J., Guidetti L. (2009). Accuracy, reliability, linearity of Accutrend and Lactate Pro versus EBIO plus analyzer. *Eur. J. Appl. Physiol.*107(1):105-11.
12. Hertogh C., Chamari K., Damiani M., Martin R., Hachana Y., Blanc S., et al. (2005). Effects of adding a preceding run-up on performance, blood lactate concentration and heart rate during maximal intermittent vertical jumping. *J. Sports Sci.*.23(9):937-42.
13. Wells G.D., Selvadurai H., Tein I. (2009). Bioenergetic provision of energy for muscular activity. *Paediatr. Respir. Rev.*10(3):83-90.
14. Racz L., Beres S., Hortobagyi T., Tihanyi J. (2002). Contraction history affects the in vivo quadriceps torque-velocity relationship in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87(4-5):393-402.
15. Hill A.V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences.*126:136-95.
16. Baker J.S., McCormick M.C., Robergs R.A. (2010). Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during intense exercise. *J. Nutr. Metab.*2010:905612.

17. Medbo J.L., Mohn A.C., Tabata I., Bahr R., Vaage O., Sejersted O.M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J. Appl. Physiol.* (1985).64(1):50-60.
18. Chamari K., Chaouachi A., Racinais S. (2010). Anaerobic power and capacity. In: P Connes OHaSP, editor. *Exercise Physiology: from a Cellular to an Integrative Approach*.
19. Chamari K., Ahmaidi S., Blum J.Y., Hue O., Temfemo A., Hertogh C., et al. (2001). Venous blood lactate increase after vertical jumping in volleyball athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 85(1 -2):191 -4.
20. Gaitanos G.C., Williams C., Boobis L.H., Brooks S. (1985). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 1993;75(2):712-9.
21. Spencer M.R., Gastin P.B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*33(1):157-62.
22. Hartree W., Hill A.V. (1923). The anaerobic processes involved in muscular activity. *J. Physiol.* 58(2-3):127-37.
23. Astrand P.O., Saltin B. (1961). Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. *J. Appl. Physiol.*16:971-6.
24. Glaister M. (2005). Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.*35(9):757-77.
25. Beltrami F.G., Froyd C., Mauger A.R., Metcalfe A.J., Marino F., Noakes T.D. (2012). Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. *Br. J. Sports Med.*46(1):23-9.
26. Beaver W.L., Wasserman K., Whipp B.J. (1985). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.*60(6):2020-7.
27. Billat V.L., Blondel N., Berthoin S. (1999). Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup Physiol.*80(2):159-61.
28. Hermansen L. Anaerobic energy release. (1969). *Med. Sci. Sports Exerc.*;1:32-8.
29. Bar-Or O. (1987). The Wingate anaerobic test. *An update on methodology, reliability and validity. Sports Med.* 4(6):381-94.
30. Winter E.M., Fowler N. (2009). Exercise defined and quantified according to the Systeme International d'Unites. *J. Sports Sci.*27(5):447-60.

Cita Original

Karim Chamari and Johnny Padulo. "Aerobic" and "Anaerobic" terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sport Medicine-Open* (2015) 1:9 DOI 10.1186/s40798-015-0012-1