

## Artigo de Revisão

**Gasto energético de sujeitos com e sem amputação de membro inferior durante a realização de atividades físicas: uma revisão sistemática da literatura****Energy expenditure of subjects with and without lower limb amputation during physical activities: A systematic review of the literature**<http://dx.doi.org/10.18316/sdh.v12i2.10678>

Lisiane Piazza Luza a<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5684-7388, Emanuely Casal Bortoluzzi<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-6207-2101, Ana Luiza Peretti<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-2149-6933, Marcelo Luza<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-1048-7767, Rudney da Silva<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-9386-0039

## RESUMO

**Objetivo:** revisar sistematicamente as diferenças no gasto energético durante a realização de atividades físicas de sujeitos com e sem amputação de membro inferior. **Métodos:** As buscas foram realizadas nas bases de dados MEDLINE via Pubmed, Web of Science e Scopus. Foram incluídos estudos originais, observacionais que compararam o gasto energético de sujeitos com e sem amputação de membro inferior durante a realização de atividades físicas. **Resultados:** Foram identificados 608 artigos, sendo excluídos os duplicados, fora dos critérios de elegibilidade e não disponíveis na íntegra, sendo elencados 17 artigos para análise. O gasto energético foi avaliado nas atividades de caminhada em solo, esteira e corrida. Na caminhada, o gasto energético foi de 13 a 83% maior nos amputados transfemorais e de 0 a 33% nos transtibiais em comparação com sujeitos sem amputação. Na corrida, o gasto energético foi de 29 a 34% maior nos transfemorais e de 9 a 38% nos transtibiais em comparação aos controles. A redução na velocidade da marcha foi outro fator observado. **Conclusões:** A amputação da extremidade inferior conduz a penalidades energéticas para a deambulação, sendo importante estratégias de intervenção visando uma marcha mais eficiente energeticamente para aumentar a autonomia e a qualidade de vida destes sujeitos..

**Palavras-chave:** amputação; gasto energético; atividade motora; amputados.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas, Brasil

<sup>2</sup> Centro Universitário UNIDEAU, Brasil

<sup>3</sup> Universidade de Passo Fundo, Brasil

<sup>4</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil

\* **Autor correspondente:** Lisiane Piazza Luza. Universidade Federal de Pelotas, Rua Luis de Camões, 625 – Três Vendas – Pelotas, Brasil, CEP: 96055-630. E-mail: [lisiane\\_piazza@yahoo.com.br](mailto:lisiane_piazza@yahoo.com.br).

## ABSTRACT

**Objective:** to systematically review the differences in energy expenditure during physical activities in subjects with and without lower limb amputation. **Methods:** Searches were performed in the MEDLINE databases via Pubmed, Web of Science and Scopus. Original and observational studies that compared the energy expenditure of subjects with and without lower limb amputation during physical activities were included. **Results:** 608 articles were identified, duplicates were excluded, outside the eligibility criteria and not available in full, and 17 articles were listed for analysis. The energy expenditure was evaluated in the activities of walking on ground, treadmill and running. On walking, energy expenditure was 13 to 83% higher in transfemoral amputees and 0 to 33% in transtibial amputees compared to subjects without amputation. In running, energy expenditure was 29 to 34% higher in transfemoral and 9 to 38% in transtibial compared to controls. The reduction in gait speed was another factor observed. **Conclusions:** Lower extremity amputation leads to energetic penalties for ambulation, being important intervention strategies aiming at a more energy efficient gait to increase the autonomy and quality of life of these subjects.

**Keywords:** amputation; energy expenditure; motor activity; amputees.

## INTRODUÇÃO

As amputações representam, ainda que por diferentes causas, um problema de saúde pública e podem causar limitações no desempenho das atividades sociais, profissionais e familiares, contribuindo para redução na mobilidade, capacidade funcional<sup>1</sup>, nível de atividade física<sup>2,3</sup> e qualidade de vida desses sujeitos<sup>4</sup>.

A amputação da extremidade inferior, com ou sem o uso de uma prótese, conduz a modificações no gasto energético durante a deambulação<sup>5</sup>. Embora aprendam a caminhar com a prótese, a marcha é menos eficiente energeticamente comparada com sujeitos saudáveis e resulta em maior estresse físico em uma determinada velocidade da marcha<sup>5, 6, 7</sup>. Houdjik et al. (2009)<sup>8</sup> observaram que a 1,3 metros por segundo (m/s) há uma diferença no dispêndio de energia de 26% entre sujeitos com e sem amputação transtibial, explicado pelas assimetrias de um corpo amputado, com estratégias compensatórias que reduzem a eficácia da produção de trabalho dos músculos<sup>9</sup>. Além disso, quanto mais articulações e músculos são afetados, maior é a perda dos mecanismos de locomoção normais e, desta forma, maior o custo energético e a deficiência<sup>5</sup>.

A restauração e otimização da mobilidade deambulatória é um dos objetivos primários na reabilitação dos indivíduos que passaram por uma amputação de membro inferior. Uma vez que o aumento no gasto metabólico tem sido sugerido como uma causa da redução na mobilidade, é importante não somente entender o efeito da amputação no gasto energético, mas também, como estas medidas tem sido usadas para quantificar as limitações na mobilidade e a qualidade de inovações protéticas<sup>10</sup>.

Estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de verificar as diferenças no gasto energético de sujeitos amputados comparando-os com sujeitos sem amputação, entre amputados, bem como entre diferentes tipos de prótese, porém, não foram encontrados até a presente data estudos que tenham

revisado e resumido sistematicamente estas informações. Fisher e Gullickson (1978)<sup>11</sup> revisaram a literatura sobre o custo energético na deambulação em pessoas saudáveis e com deficiências físicas como amputações, hemiplegia, entre outras, observando que as pessoas com deficiência caminham mais lentamente e que, quanto maior a deficiência, menor a eficiência da sua marcha. Don e Roberts (1992)<sup>12</sup>, ao estudar o gasto energético na locomoção de amputados de membro inferior, identificaram um custo energético adicional na realização de diversas atividades. Czerniecki e Morgenroth (2015)<sup>10</sup> realizaram uma revisão narrativa sobre o gasto energético da deambulação de amputados de membro inferior, verificando também a validade ecológica dos estudos com esta temática em amputados.

Nesse sentido, considerando que as revisões sistemáticas da literatura encontram-se no topo da pirâmide da Prática Baseada em Evidências<sup>13</sup>, justifica-se a realização deste estudo, para que assim possa-se organizar sistematicamente o conhecimento científico produzido até o momento sobre este assunto a fim de discuti-lo e aplicá-lo no meio clínico e científico, além de propor direcionamentos para estudos futuros. Sendo assim, este estudo teve como objetivo revisar sistematicamente a literatura acerca das diferenças no gasto energético de amputados de membro inferior na realização de atividades físicas em comparação com sujeitos sem amputação.

## MÉTODOS

Este estudo foi registrado sob o número CRD42020187010 no *International Prospective Register of Systematic Reviews – PROSPERO* e segue as recomendações propostas pela Colaboração *Cochrane* e pelo *Preferred Reporting Items for Systematic- Review and Meta-Analyses: The PRISMA Statement*. Foram incluídos estudos originais, observacionais, que tivessem comparado o gasto energético durante a realização de atividades físicas de pessoas com amputação de membro inferior, uni ou bilateral, de ambos os sexos, que utilizassem ou não prótese, com pessoas sem amputação de membro inferior, indexados nas bases de dados selecionadas, disponíveis na íntegra, sem restrição de data de publicação, nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola. Foram excluídos artigos secundários, que não estiverem disponíveis na íntegra ou que não abordassem a temática proposta.

Como estratégia de busca, foram selecionadas as bases de dados eletrônicas *MEDLINE (Medical Literature Analysis and Retrieval System on-line)* via *Pubmed*, *Web of Science* e *Scopus (Elsevier)*. A estratégia de busca incluiu os descritores propostos no *Medical Subject Headings (MeSH)* referentes à população de amputados: “Amputees” ou “Amputee” e relacionados ao gasto energético: “Energy Metabolism” OR “Energy Expenditure” OR “Energy Expenditures” OR “Expenditure, Energy” OR “Expenditures, Energy”. As estratégias de busca foram realizadas no mês de março de 2022 e atualizadas em abril de 2024.

Inicialmente, os títulos e os resumos identificados pela estratégia de busca foram avaliados por dois autores, de forma independente. Após a seleção dos resumos, foi realizada a leitura dos artigos na íntegra, também de forma independente entre os autores, os quais fizeram suas seleções de acordo com os critérios de elegibilidade pré-estabelecidos. Os estudos que não estavam de acordo com os critérios adotados foram excluídos. As discordâncias entre os revisores foram resolvidas por consenso e, nos casos de divergências remanescentes entre os revisores foi aplicada uma escala de Likert de cinco pontos: a) sem condição de ser aceitável (1 ponto); b) com muito pouca condição para ser aceitável (2 pontos); c) com pouca condição para ser aceitável (3 pontos); d) sob condição de ser aceitável (4 pontos); e) com condições suficientes para ser aceitável (5 pontos). Caso o artigo recebesse pelos dois autores a soma da pontuação menor ou igual a 6 pontos, este deveria ser excluído da revisão sistemática<sup>14</sup>. Em caso de divergências entre os autores, foi solicitada a opinião de um terceiro revisor. Foram extraídos dados gerais dos estudos selecionados, bem como as

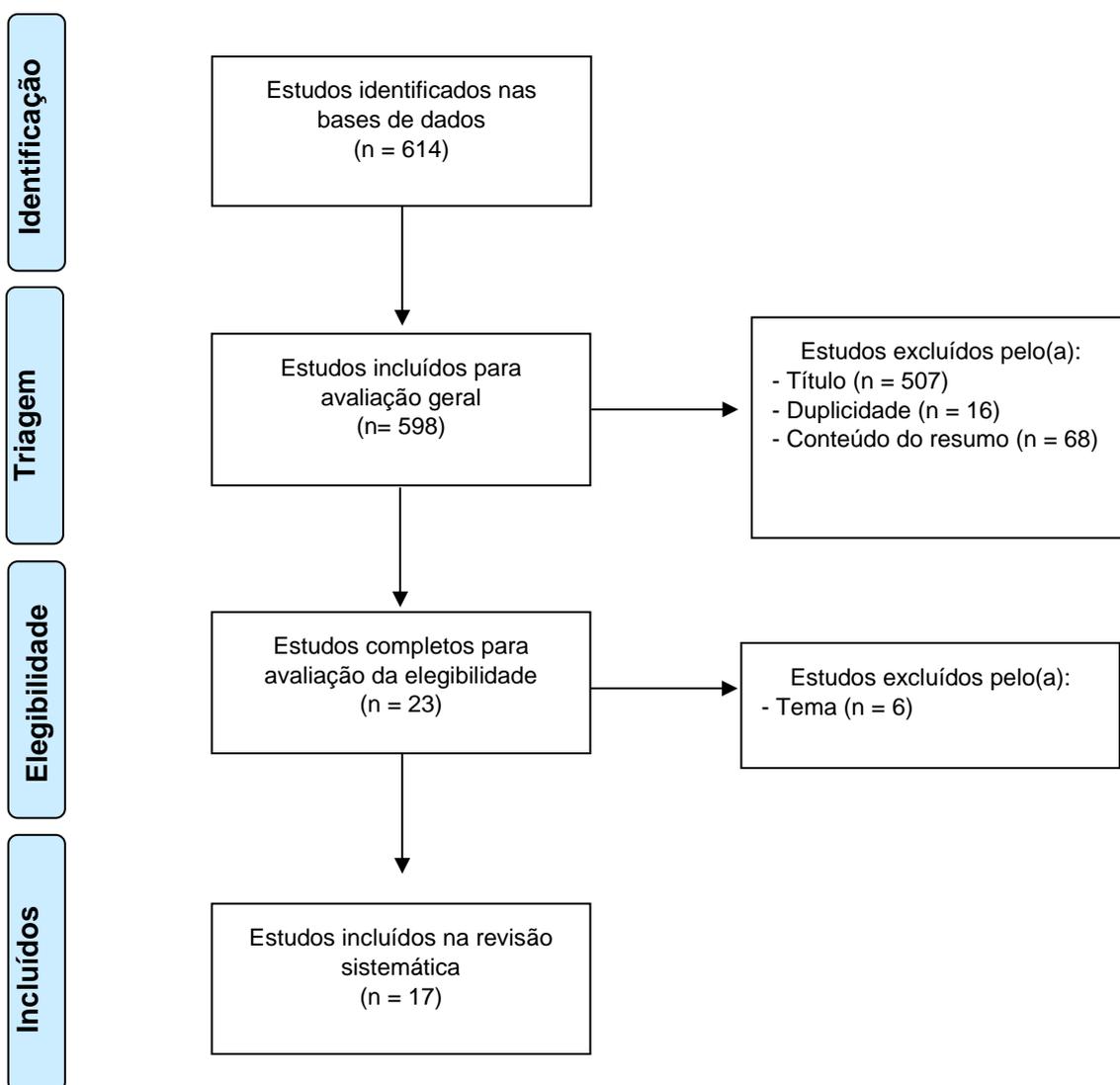
características metodológicas.

A qualidade metodológica de cada estudo incluído na revisão também foi avaliada de forma independente por dois revisores a partir de um instrumento desenvolvido por Da Silva et al. (2014)<sup>14</sup>, baseado na escala *Newcastle-Ottawa (NOS)*. Este instrumento engloba cinco itens: a clareza da questão, os critérios de inclusão e exclusão dos indivíduos para a pesquisa, a forma de avaliação dos desfechos, as perdas e exclusões ao longo da pesquisa e, por fim, se os resultados são claros e discutidos, sendo que o estudo se caracteriza como de boa qualidade quando apresenta respostas positivas para, pelo menos, três dos itens avaliados.

## RESULTADOS

Foram identificados 614 artigos na busca inicial. Após a leitura dos títulos, foram excluídos 507 que não se enquadravam nos critérios de elegibilidade, permanecendo 107 resumos para análise, sendo 16 duplicados. Após a leitura dos resumos, foram excluídos 68 artigos, totalizando 23 para análise completa. Dos 23 artigos selecionados, 6 foram excluídos por não contemplarem o objetivo da revisão, permanecendo 17 artigos relevantes para a revisão sistemática (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma da busca e seleção dos estudos.



A tabela 1 apresenta as características dos estudos incluídos na revisão sistemática referentes ao autor, ano de publicação, desenho do estudo, número de participantes, sexo e idade. A tabela 2 apresenta os dados relativos ao gasto energético (forma de avaliação do gasto energético, atividade física em que este foi avaliado e principais resultados referentes ao gasto energético de sujeitos com e sem amputação).

**Tabela 1.** Características metodológicas dos estudos selecionados.

<b>Autor (ano)</b>	<b>Desenho do estudo</b>	<b>N (GA e GC)</b>	<b>Sexo (GA e GC)</b>	<b>Idade (anos) (GA e GC)</b>
Waters et al. (1976) <sup>15</sup>	NM	GA: 70; GC:50	GC: Mulheres (25); Homens (25)	GA: 48±16,58; GC: NM
Gailey et al. (1994) <sup>16</sup>	NM	GA: 39; GC: 21	Homens	GA: 47±05; GC: 31±19
Hunter et al. (1995) <sup>17</sup>	NM	GA: 7; GC:10	NM	GA: 35,3±5,2; GC: 30,7±5,6
Hoffman et al. (1997) <sup>18</sup>	Transversal	GA:5; GC:5	GA: mulheres (1); homens (4); GC: mulheres (1); homens (4);	GA: 22±3; GC: 22±6
Gailey et al. (1997) <sup>19</sup>	NM	GA:10; GC: 10	Homens	GA: 37,8±10,4; GC: 34±12,9
Paysant et al. (2006) <sup>20</sup>	NM	GA: 10; GC:10	Homens	GA: 39,2±13,92; GC: NM
Hagberg, Haggstrom and Branemark (2007) <sup>21</sup>		GA: 41; GC: 22	GA: homens (30); mulheres (11) GC: homens (16); mulheres (6)	GA: 49; GC:48
Genin et al. (2008) <sup>9</sup>	NM	GA: 19; GC: 7	NM	GA: 34,7±5,1 (ATF); 35,3±7,2 (ATT); GC: 27,8±5,2
Houdijk et al. (2009) <sup>8</sup>	NM	GA:11; GC:11	NM	GA: 46±9; GC: 47±11
Esposito et al. (2014) <sup>22</sup>	NM	GA:13; GC:13	Homens	GA: 28,9±5,3;GC:26,5±6,0
Mengelkoch, Kahle and Highsmith (2014) <sup>23</sup>	Medidas repetidas e caso controle	GA: 3; GC: 3	Homens	GA: 35,3±10; GC: 35,3±9
Khiri et al. (2015) <sup>24</sup>	NM	GA:5; GC:5	NM	GA: 44,2±4,1; GC: 45±4,5
Starholm et al. (2015) <sup>25</sup>	Cruzado randomizado	GA: 8; GC:8	GA: mulheres (4); homens (4); GC: mulheres (4); homens (4)	GA: 37±10,9; GC:39±12,3
Mengelkoch, Kahle and Highsmith (2016) <sup>26</sup>	Medidas repetidas e caso controle	GA: 3; GC:3	Homens	GA:27,7±8,1; GC: 27±7,8
Jarvis et al. (2016) <sup>27</sup>	Transversal	GA: 30; GC: 10	Homens	GA: 28,73±3,63; GC: 30±6
Gjovaag, Starholm and Mirtaheri (2017) <sup>28</sup>	NM	GA:8; GC:8	GA: mulheres (4); homens (4) GC: mulheres (4); homens (4)	GA: 37,0±10,9; GC: 39,0±12,3
Esposito et al. (2018) <sup>29</sup>	Transversal	GA: 14; GC: 14	NM	GA: 27±5; GC: 26±6

Legenda - N: número de participantes; GA: Grupo de sujeitos com amputação; GC: grupo controle; NM – Não mencionado; TFA: transfemoral amputees; TTA: transtibial amputees; NM: não mencionado; ATF: amputação transfemoral; ATT: amputação transtibial.

**Tabela 2.** Dados relacionados ao gasto energético dos estudos selecionados

Autor (ano)	Forma de avaliação do GE	Atividade em que o GE foi avaliado	Principais resultados
Waters et al. (1976) <sup>15</sup>	Taxa de gasto energético (quantidade de oxigênio consumido por minuto), custo energético por metro (quantidade de oxigênio consumido por metro caminhado) e custo energético relativo (taxa de captação de oxigênio dividida pela habilidade máxima do indivíduo para realizar exercícios aeróbicos ou máximo exercício aeróbico).	Caminhada em velocidade auto-selecionada e após o mais rápido possível.	Com exceção do grupo com amputação vascular acima do joelho, os amputados modificaram sua velocidade da marcha para manter seu custo energético dentro dos limites normais. Para os pacientes com amputação vascular acima do joelho, o custo energético na caminhada foi alto (63% da capacidade aeróbica máxima). A capacidade aeróbica máxima nos grupos com amputação traumática ou vascular acima do joelho foi significativamente mais baixa do que nos amputados abaixo do joelho ou em sujeitos normais.
Gailey et al. (1994) <sup>16</sup>	Absorção de oxigênio (VO <sub>2</sub> )	Caminhada em velocidade auto-selecionada.	O VO <sub>2</sub> para os amputados transtibiais foi 16% maior e o ritmo da marcha 11% menor do que sujeitos não amputados.
Hunter et al. (1995) <sup>17</sup>	Consumo indireto padronizado de oxigênio por calorimetria (VO <sub>2</sub> ml/kg/min) e gasto de calorías (kj/min).	Caminhada em esteira a 0,67 m/s e 1,34 m/s, suportando todo peso corporal, 20% e 40% do peso corporal.	Houveram menores valores de VO <sub>2</sub> para sujeitos saudáveis versus amputados abaixo do joelho em todas situações de teste. Ambos os grupos apresentaram menor frequência cardíaca, VO <sub>2</sub> e kj/min a 1,34 m/s com 40% de suporte do peso corporal. Adicionalmente, menores VO <sub>2</sub> e kj/min foram encontrados para sujeitos saudáveis em comparação a amputados abaixo do joelho a 1,34m/s com 20% de suporte do peso corporal.
Hoffman et al. (1997) <sup>18</sup>	Absorção de oxigênio (VO <sub>2</sub> )	Seis minutos de caminhada em três velocidades e velocidade auto-selecionada.	A velocidade auto-selecionada foi 21% menor e induziu a demandas aeróbicas 49% maiores para os sujeitos amputados. Nas velocidades especificadas, as demandas aeróbicas foram 55% a 83% maiores para os sujeitos amputados em relação aos controles.
Gailey et al. (1997) <sup>19</sup>	Consumo de oxigênio (VO <sub>2</sub> )	Quatro ensaios de caminhada na esteira, com duração de nove minutos cada.	O consumo de oxigênio nos amputados transtibiais foi 14,3, 11 e 14,5 % maior que nos controles ao carregarem cargas de zero gramas, 434g e 907g, respectivamente.
Paysant et al. (2006) <sup>20</sup>	VO <sub>2</sub> e custo de oxigênio [O <sub>2</sub> C]	Caminhada a velocidades auto-selecionadas em três tipos de superfícies (asfalto, grama cortada e grama alta).	Não foram observadas diferenças entre sujeitos com e sem amputação no asfalto e na grama cortada. Quando os amputados (mesmo sendo muito ativos) foram expostos a dificuldades ambientais, sua velocidade de marcha livre reduziu e seu gasto energético aumentou, comparado com sujeitos sem amputação.

Hagberg, Haggstrom and Branemark (2007) <sup>21</sup>	Índice de Custo Fisiológico (PCI).	Caminhada em três velocidades de marcha confortáveis e auto-selecionadas.	A média do PCI para os amputados transfemorais foi 77% maior do que para os sujeitos sem amputação.
Genin et al. (2008) <sup>9</sup>	Consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono.	Em repouso e caminhando em diferentes velocidades, de 0,3m/s <sup>-1</sup> até próximo da velocidade máxima suportável.	O gasto energético ao repouso foi o mesmo em sujeitos com e sem amputação de membro inferior. Durante a caminhada, o gasto energético foi de 30 a 60% maior nos amputados transfemorais e de 0 a 15% maior nos transtibiais em comparação aos controles.
Houdijk et al. (2009) <sup>8</sup>	O custo metabólico derivou da captação de oxigênio e produção de dióxido de carbono. O equivalente energético de oxigênio consumido foi calculado usando o quociente respiratório. Foram calculados o consumo de energia metabólica ( $E_{met}$ J kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) e o custo de energia metabólica ( $C_{met}$ , J kg <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ) para caminhada.	Caminhada em velocidade confortável e velocidade fixa (1,3 m/s).	Na velocidade fixa, o consumo de energia metabólica ( $E_{met}$ ) foi maior nos amputados comparado aos controles (3,34 J kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> vs. 2,73 J kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ). Na velocidade confortável, não houveram diferenças no consumo energético (3,56 J kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> vs. 3,58 J kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ), porém a velocidade dos amputados foi significativamente menor do que a dos sujeitos controles (1,35 m/s-1 vs. 1,52 m/s <sup>-1</sup> ).
Esposito et al. (2014) <sup>22</sup>	Frequência cardíaca, VO <sub>2</sub> e escala de percepção de esforço.	Caminhada em velocidade auto-selecionada e em cinco velocidades padronizadas, baseadas no comprimento da perna.	Taxas metabólicas (consumo de oxigênio e auto-percepção de esforço) não foram diferentes entre amputados transtibiais e controles em nenhuma velocidade, mas as taxas ao repouso foram menores nos amputados transtibiais.
Mengelkoch, Kahle and Highsmith (2014) <sup>23</sup>	Captação de oxigênio (VO <sub>2</sub> ) mensurada continuamente pela respiração, pela análise de trocas gasosas.	Caminhada em velocidades fixas e auto-selecionada e corrida.	Na caminhada, o VO <sub>2</sub> aumentou (21–33 %) e a eficiência da marcha reduziu nos amputados transtibiais comparados aos controles. Na corrida, o VO <sub>2</sub> foi maior (9–38 %), a eficiência da marcha foi menor e a velocidade auto selecionada para corrida foi mais lenta (17–30 %) para os amputados transtibiais em comparação aos controles.
Khiri et al. (2015) <sup>24</sup>	Índice de Custo Fisiológico (PCI).	Caminhada.	PCI dos sujeitos com amputação transfemoral foi 0,525 ± 0,13 comparado com 0,298 ± 0,059 bpm/m nos sujeitos sem amputação. Contudo, o consumo energético foi maior nos amputados transfemorais do que nos sujeitos controles, o que pode estar relacionado a menor velocidade de marcha.

Starholm et al. (2015) <sup>25</sup>	Captação de oxigênio (VO <sub>2</sub> ) mensurada pela respiração pela análise de trocas gasosas.	Caminhada em esteira e em solo.	Na caminhada no solo, o gasto energético dos amputados transfemorais e dos controles foi, 54% e 31% do VO <sub>2</sub> max, respectivamente. Caminhando na esteira, o gasto energético dos amputados transfemorais e dos controles foi de 42% e 29% do VO <sub>2</sub> max, respectivamente.
Mengelkoch, Kahle and Highsmith (2016) <sup>26</sup>	Captação de oxigênio (VO <sub>2</sub> ) mensurada pela respiração pela análise de trocas gasosas.	Caminhada e corrida (velocidade auto-selecionada de caminhada e corrida e pico de velocidade de corrida).	Custo energético foi maior e o desempenho na marcha menor para os amputados transfemorais em comparação aos controles. Durante a caminhada em velocidades fixas, o VO <sub>2</sub> foi maior nos amputados comparados aos não amputados, sendo o aumento do VO <sub>2</sub> variando de 45% a 78% comparado aos controles. Na corrida em velocidades fixas, o VO <sub>2</sub> foi maior (29%–34%) nos amputados comparado aos não amputados.
Jarvis et al. (2016) <sup>27</sup>	Gasto de energia metabólica (oxigênio consumido por unidade de tempo e custo de oxigênio por unidade de distância). Para calcular o custo de oxigênio, uma média da taxa de oxigênio consumido (ml/kg/min) foi calculada ao longo do último minuto da captura dos dados para cada participantes e foi dividida pela velocidade da marcha.	Caminhada em velocidade auto-selecionada.	A média da taxa de consumo de oxigênio aumentou com o aumento do nível de amputação, porém diferenças em relação ao grupo controle foram somente significativas para os amputados transfemorais bilaterais (43% maior). O custo de oxigênio para os sujeitos com amputação transtibial unilateral (0,15 ml/kg/m) foi o mesmo que para os controles (0,15 ml/kg/m), e aumentou significativamente em 20% (0,18ml/kg/m) para os amputados unilaterais transfemorais e em 60% (0,24 ml/kg/m) para os amputados transfemorais bilaterais.
Gjovaag, Starholm and Mirtaheeri (2017) <sup>28</sup>	O custo de oxigênio por unidade de distância (ECW; mL.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> ) foi calculado pela divisão do consumo de VO <sub>2</sub> dos participantes (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ) pela sua respectiva velocidade de caminhada (m/min <sup>-1</sup> ).	Caminhada.	O custo energético da caminhada do grupo controle foi menor comparado aos amputados transfemorais.
Esposito et al. (2018) <sup>29</sup>	Gases expirados (VO <sub>2</sub> ); Taxa metabólica (mLO <sub>2</sub> /kg/min); Custo metabólico (mL O <sub>2</sub> /kg/m).	Caminhada em velocidade auto-selecionada e em cinco velocidades padronizadas.	Nas velocidades padronizadas, tanto a taxa metabólica quanto o custo metabólico foram de 44 a 47% maiores nos sujeitos com amputação transfemoral em comparação aos controles.

Legenda - GE: Gasto energético; PCI: Índice de Custo Fisiológico.

Dentre os estudos selecionados para a presente revisão, alguns demonstraram as diferenças no gasto energético de sujeitos com e sem amputação em valores percentuais. Essas informações foram sumarizadas e são apresentadas na tabela 3.

Já a avaliação da qualidade metodológica é apresentada na tabela 4. Todos estudos incluídos apresentaram uma boa qualidade metodológica, uma vez que apresentaram respostas positivas para, pelo menos, três dos itens avaliados. Porém, dos 17 estudos, somente três<sup>21,27,29</sup> atingiram todos os critérios de qualidade propostos pelo instrumento utilizado. Sete estudos não informaram os critérios de inclusão e exclusão para seleção dos participantes<sup>8,16-19,23,26</sup> e 14 estudos não informaram possíveis perdas ou exclusões<sup>8,9,15-20,22-26,28</sup>.

**Tabela 3.** Porcentagem de variação do gasto energético entre sujeitos com e sem amputação de membro inferior.

Autor (ano)	Atividade	Nível da amputação	Porcentagem de variação no GE entre amputados e sujeitos controles
Gailey et al. (1994) <sup>16</sup>	Caminhada	Transtibial	16% maior nos amputados
Hoffman et al. (1997) <sup>18</sup>	Caminhada	Acima do joelho	49% maior nos amputados com a velocidade auto selecionada; 55 a 83% maior nos amputados com a velocidade selecionada pelos pesquisadores
Gailey et al. (1997) <sup>19</sup>	Caminhada	Transtibial	11 a 14,5% maior nos amputados
Hagberg, Haggstrom and Branemark (2007) <sup>21</sup>	Caminhada	Transfemoral	77% maior nos amputados
Genin et al. (2008) <sup>9</sup>	Repouso em pé e caminhada	Transfemoral e transtibial	Semelhante entre os sujeitos no repouso. Na caminhada foi de 30 a 60% maior nos transfemorais e de 0 a 15% maior nos transtibiais.
Mengelkoch, Kahle and Highsmith (2014) <sup>23</sup>	Caminhada e corrida	Transtibiais	Caminhada – 21 a 33% maior nos amputados; Corrida – 9 a 38% maior nos amputados.
Starholm et al. (2015) <sup>25</sup>	Caminhada	Transfemoral	Caminhada no solo – 23% maior nos amputados; Caminhada na esteira – 13% maior nos amputados.
Mengelkoch, Kahle and Highsmith (2016) <sup>26</sup>	Caminhada e corrida	Transfemoral	Caminhada – 45 a 78% maior nos amputados; Corrida – 29 a 34% maior nos amputados.
Jarvis et al. (2016) <sup>27</sup>	Caminhada	Transtibial e transfemoral bilaterais	43% maior nos amputados transfemorais bilaterais
Esposito et al. (2018) <sup>29</sup>	Caminhada	Transfemorais	44 a 47% maior nos amputados

Legenda: GE: Gasto Energético

**Tabela 4.** Qualidade metodológica dos estudos selecionados

Autores (ano)	Itens relacionados aos estudos				
	Questão clara, focada e apropriada	Critérios de inclusão e exclusão utilizados na seleção dos participantes	Desfechos avaliados de forma válida e padronizada	Perdas e exclusões	Resultados claramente apresentados e discutidos
Waters et al. (1976) <sup>15</sup>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Gailey et al. (1994) <sup>16</sup>	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Hunter et al. (1995) <sup>17</sup>	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Hoffman et al. (1997) <sup>18</sup>	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Gailey et al. (1997) <sup>19</sup>	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Paysant et al. (2006) <sup>20</sup>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Hagberg, Haggstrom and Branemark (2007) <sup>21</sup>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Genin et al. (2008) <sup>9</sup>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Houdijk et al. (2009) <sup>8</sup>	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Esposito et al. (2014) <sup>22</sup>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Mengelkoch, Kahle and Highsmith (2014) <sup>23</sup>	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Khiri et al. (2015) <sup>24</sup>	sim	Sim	sim	Não	sim
Starholm et al. (2015) <sup>25</sup>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Mengelkoch, Kahle and Highsmith (2016) <sup>26</sup>	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Jarvis et al. (2016) <sup>27</sup>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Gjovaag, Starholm and Mirtaheiri (2017) <sup>28</sup>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Esposito et al. (2018) <sup>29</sup>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

## DISCUSSÃO

Mensurar o consumo energético nas atividades é um método estabelecido para quantificar o esforço real exercido e comparar a eficácia da prótese em amputados<sup>30-32</sup>. Uma marcha eficiente energeticamente é essencial para aumentar o nível de autonomia e a qualidade de vida de pacientes amputados<sup>33</sup> uma vez que o aumento desse custo metabólico é sugerido como uma importante causa de redução na mobilidade desta população<sup>10</sup>.

A amputação da extremidade inferior, com ou sem o uso de uma prótese, conduz a penalidades energéticas para a deambulação<sup>34</sup>. O paciente deve escolher entre caminhar sem a prótese, o que irá requerer um aumento da energia para os membros superiores (maior descarga/sobrecarga) pelo uso de muletas, ou usando uma prótese, a qual aumenta as demandas de energia pela utilização da musculatura proximal do membro inferior amputado para substituir os músculos distais perdidos com a amputação<sup>5</sup>.

Por meio deste estudo, pode-se verificar que grande parte dos estudos avaliou o gasto energético dos sujeitos com e sem amputação durante a caminhada, seja em velocidade auto-selecionada pelos sujeitos ou em velocidade controlada pelos pesquisadores. A caminhada foi avaliada tanto na esteira, quanto no solo, plano ou com diferentes superfícies, a fim de simular as dificuldades encontradas no dia a dia na marcha dos sujeitos<sup>8,9,15-29</sup>. Além destes, dois estudos avaliaram o gasto energético na corrida de sujeitos com e sem amputação<sup>23,26</sup>. Não foram encontrados estudos verificando possíveis diferenças no consumo energético dos sujeitos em outras atividades físicas.

Independente da forma de avaliação ou da atividade realizada, todos os estudos incluídos verificaram um maior gasto energético de sujeitos amputados em comparação com sujeitos saudáveis e sem amputação. Foi verificada uma grande amplitude de variação nas diferenças no gasto energético entre os indivíduos. Na caminhada, o gasto energético foi de 13 a 83% maior nos amputados transfemorais<sup>9,18,21,25-27,29</sup> e de 0 a 33% maior nos amputados transtibiais em comparação com sujeitos sem amputação<sup>9,16,19,23,27</sup>. Já para a corrida, o gasto energético foi de 29 a 34% maior nos amputados transfemorais<sup>26</sup> e de 9 a 38% maior nos transtibiais<sup>23</sup> em comparação a sujeitos sem amputação de membro inferior.

Um dos fatores apontados pelos autores que poderia estar associado ao maior custo energético dos amputados foi a redução na velocidade da marcha destes sujeitos em comparação aos controles, fator este observado em vários estudos<sup>15,16,18,20,21,23,24,26,28,29</sup>. As altas demandas metabólicas podem ter contribuído para a menor velocidade de marcha dos amputados<sup>29</sup>. Segundo Waters et al. (1976)<sup>15</sup>, os amputados modificam sua velocidade da marcha para manter seu custo energético dentro dos limites normais.

Acredita-se que, para possibilitar que pessoas com amputação de membro inferior adotem uma velocidade de marcha mais rápida e ao mesmo tempo gastando menos energia, é importante que essas pessoas realizem exercícios de resistência aeróbica. Exercícios regulares de resistência aeróbica podem melhorar a capacidade aeróbica máxima ( $VO_2max$ ) e mudar a utilização de substratos para oxidação de gorduras, o que pode resultar em uma redução clinicamente relevante na captação de oxigênio durante a deambulação com a prótese e uma utilização de substratos mais sustentável. Consequentemente, podendo acarretar em melhoras funcionais na velocidade da marcha, resistência na caminhada e uma redução na percepção de esforço físico<sup>28</sup>.

Esposito et al. (2014)<sup>22</sup> verificaram equivalentes demandas metabólicas entre pessoas com e sem amputação, caminhando na mesma velocidade. Porém, ao repouso, os sujeitos amputados apresentaram menores valores de  $VO_2$ , o que sugere que os níveis de condicionamento cardiovascular podem ter sido maiores no grupo com amputação transtibial do que nos controles. Já

Genin et al. (2008)<sup>9</sup>, verificaram que em pé, em repouso, os amputados consumiram a mesma quantidade de energia que sujeitos controles, sugerindo que suportar o peso corporal e manter o equilíbrio em pé e sobre a prótese não gera um maior custo energético do que ficar apoiado sobre os dois pés.

Os amputados de membro inferior se adaptam a um estilo de vida mais sedentário após a amputação e conseqüentemente, sua capacidade aeróbica reduz gradualmente. As conseqüências desse descondicionamento físico são que, atividades como caminhar, se tornam fisicamente mais desafiadoras e os amputados transfemorais tem que usar uma grande porcentagem da sua capacidade aeróbica máxima em relação a sujeitos controles para realizar atividades normais do dia-a-dia<sup>25</sup>. Starholm et al. (2015)<sup>25</sup> verificaram que durante a caminhada os amputados gastam uma grande porcentagem da sua capacidade aeróbica máxima comparados a sujeitos saudáveis. Com um baixo VO<sub>2</sub>max, atividades comuns como caminhar, se tornam fisicamente mais desafiadoras para os amputados transfemorais do que para sujeitos controles, o que pode ter um efeito negativo na amplitude de caminhada dos amputados.

Porém, o custo energético na locomoção dos amputados não pode ser explicado por um único fator e sim deve ser atribuído a vários fatores<sup>35,36</sup>. O consumo extra de energia observado nos amputados também pode ocorrer devido a um aumento no trabalho muscular realizado para movimentar-se e/ou a uma menor eficiência da produção de trabalho positivo pelos músculos<sup>37</sup>. Por sua vez, o maior trabalho muscular pode ser devido a um trabalho externo mais alto (ou seja, o trabalho para manter o movimento do centro de massa em relação ao ambiente) e/ou a um trabalho interno mais alto (isto é, o trabalho realizado para mover os membros em relação ao centro de massa e o trabalho realizado por uma perna contra a outra durante a fase de contato duplo). O gasto energético maior não pode, portanto, ser explicado por um trabalho externo mais alto, já que em certa medida, o membro sadio passa por um excesso de trabalho que é compensado pela economia do membro amputado<sup>35</sup>. No entanto, para manter constante a velocidade da marcha, as assimetrias observadas na caminhada dos amputados podem induzir estratégias compensatórias que reduzirão a eficiência da produção positiva de trabalho pelos músculos. Tais assimetrias podem precisar desenvolver maior potência muscular durante algumas fases da marcha<sup>35</sup>, o que pode exigir um gasto energético maior do que durante a caminhada normal.

Sabe-se também que fatores como o nível e a causa da amputação podem potencialmente influenciar no gasto energético desses sujeitos<sup>38</sup>, porém, dentre os estudos selecionados, a grande maioria incluiu sujeitos somente com um nível ou causa da amputação, impossibilitando de se verificar possíveis diferenças no gasto energético entre estes subgrupos. Dentre os estudos que apresentaram uma amostra mais heterogênea estão o de Waters et al. (1976)<sup>15</sup>, os quais avaliaram sujeitos com amputação abaixo, acima do joelho e de Syme, verificando um maior custo energético na caminhada (63% da capacidade aeróbica máxima) nos amputados de causa vascular e acima do joelho. Genin et al. (2008)<sup>9</sup> avaliaram sujeitos com amputação transtibial e transfemoral, de causa traumática e verificaram, na comparação com sujeitos sem amputação, um gasto energético durante a marcha maior nos amputados transfemorais (30-60%) do que nos transtibiais (0-15%). Jarvis et al. (2016)<sup>27</sup> também avaliaram sujeitos com amputação transfemoral e transtibial por causa traumática, observando que a taxa média no consumo de oxigênio aumentou com o aumento do nível da amputação, porém houve diferenças significativas com os sujeitos controles somente nos amputados transfemorais bilaterais (43% maior).

Este maior gasto energético nas amputações transfemorais também foi apontado por outros estudos. Vllasolli et al. (2014)<sup>39</sup> verificaram diferenças no gasto energético entre sujeitos com amputação transtibial, transfemoral e de Syme, observando que um maior nível de amputação está associado com menor eficiência energética na caminhada e com uma menor velocidade de marcha. De forma semelhante, Göktepe et al. (2010)<sup>40</sup> verificaram o gasto energético de amputados unilaterais

de origem traumática, com três níveis de amputação: transfemoral, transtibial e parcial do pé, observando um maior gasto energético nos amputados transfemorais, seguido dos sujeitos com amputação parcial do pé e o menor gasto energético foi dos amputados transtibiais.

Considerando o pequeno número de estudos incluídos na presente revisão que tenham verificado diferenças no gasto energético de sujeitos com diferentes níveis e causas da amputação, o que ocorreu possivelmente pelos critérios de elegibilidade estabelecidos, verifica-se a necessidade de novas revisões sistemáticas referentes às diferenças no gasto energético entre sujeitos com diferentes níveis e causas de amputação, a fim de se resumir e organizar as informações existentes sobre esta temática e apontar direcionamentos para futuros estudos com essa população.

Este estudo possui algumas limitações, como a estratégia de busca ter sido realizada em somente três bases de dados. Acredita-se que expandir a pesquisa para outras bases de dados e também na literatura cinza poderia oferecer uma perspectiva mais abrangente e inclusiva sobre o assunto, possibilitando uma análise mais completa e robusta do mesmo.

## CONCLUSÃO

Sujeitos com amputação de membro inferior apresentam um maior gasto energético na caminhada e corrida em comparação com sujeitos sem amputação. Em virtude disto, os amputados tendem a reduzir a velocidade da sua marcha na tentativa de manter seu custo energético dentro dos limites normais. Desta forma, acredita-se ser importante o desenvolvimento de estratégias de intervenção visando uma marcha mais eficiente energeticamente para assim aumentar o nível de autonomia e a qualidade de vida destes sujeitos.

### Conflito de interesses:

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

### Contribuição Individual de cada autor:

LPL: contribuição na concepção e planejamento do estudo; na obtenção, na análise e interpretação dos dados, redação e revisão crítica e aprovação final da versão publicada.

ECB e ALP: contribuição na obtenção, na análise e interpretação dos dados.

ML: contribuição na obtenção, análise e interpretação dos dados, redação, revisão crítica e aprovação final da versão publicada.

RS: contribuição na redação, revisão crítica e aprovação final da versão publicada.

## REFERÊNCIAS

1. Martins DL, RABELO RJ. Influência da atividade física adaptada na qualidade de vida de deficientes físicos. *Movimentum*. 2000. 3(2): 43-48.
2. Liberman MB, Liberman A. Ajustamento Psicossocial à Incapacidade Física. In: O'Sullivan SB, Schmitz TJ. *Fisioterapia: avaliação e tratamento*. São Paulo: Manole, 1993.
3. Santos JR, Vargas MM, Melo CM. Nível de atividade física, qualidade de vida e rede de relações sociais de amputados. *Rev Bras Ciênc Mov*. 2014. 22(3): 20-26. DOI:10.18511/0103-

1716/rbcm.v22n3p20-26.

4. Coffey L, Gallagher P, Desmond D. Goal pursuit and goal adjustment as predictors of disability and quality of life among individuals with a lower limb amputation: A prospective study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014. 95(2): 244–252. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.08.011
5. Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture.* 1999. 9: 207-231. DOI: 10.1016/s0966-6362(99)00009-0
6. Czerniecki JM. Rehabilitation in limb deficiency. 1. Gait and motion analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996. 77(3): 3-8. DOI: 10.1016/s0003-9993(96)90236-1
7. Ward KH, Meyers C. Exercise performance of lower-extremity amputees. *Sports Med.* 1995. 20: 207-214. DOI: 10.2165/00007256-199520040-00001
8. Houdjik E et al The energy cost for the step-to- step transition in amputee walking. *Gait Posture.* 2009. 30: 35-40. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2009.02.009
9. Genin JJ et al. Effect of speed on the energy cost of walking in unilateral traumatic lower limb amputees. *Eur J Appl Physiol.* 2008. 103(6): 655-63. DOI: 10.1007/s00421-008-0764-0
10. Czerniecki JM, Morgenroth DC. Metabolic energy expenditure of ambulation in lower extremity amputees: what have we learned and what are the next steps? *Disabil Rehabil.* 2015. 39(2): 143-151. DOI: 10.3109/09638288.2015.1095948
11. Fischer SV, Guillickson GJr. Energy cost of ambulation in health and disability: a literature review. *Arch Phys Med Rehabil.* 1978. 59(3): 124-133.
12. Don JM, Roberts C. A review of the energy expenditure of disabled locomotion with special reference to lower limb amputees. *Physiother Theory Pract.* 1992.8: 97-108. DOI: 10.3109/09593989209108087
13. Cordeiro AM et al. Revisão Sistemática: Uma Revisão Narrativa. *Rev Col Bras Cir.* 2007. 34(6): 428-431. DOI: 10.1590/S0100-69912007000600012
14. Da Silva FC et al. Anthropometric Indicators of Obesity in Policemen: A Systematic Review of Observational Studies. *Int J Occup Med Environ Health.* 2014. 27(6): 891-901. DOI: 10.2478/s13382-014-0318-0
15. Waters et al. Energy cost of walking of amputees: the influence of level of amputation. *J Bone Joint Surg.*1976. 58: 42-46. DOI:10.2106/00004623-197658010-00007
16. Gailey RS. et al. Energy expenditure of trans-tibial amputees during ambulation at self-selected pace. *Prosthet Orthot Int.* 1994. 18(2): 84-91. DOI: 10.3109/03093649409164389
17. Hunter et al. Energy expenditure of below-knee amputees during harness-supported treadmill ambulation. *JOSPT.* 1995. 21(5): 268-276. DOI: 10.2519/jospt.1995.21.5.268
18. Hoffman MD et al. Physiological comparison of walking among bilateral above-knee amputee and able-bodied subjects, and a model to account for the differences in metabolic cost. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997. 78: 385-392. DOI: 10.1016/S0003-9993(97)90230-6
19. Gailey RS et al. The effects of prosthesis mass on metabolic cost of ambulation in non-vascular trans-tibial amputees. *Prosthet Orthot Int.* 1997. 21(1): 9-16. DOI: 10.3109/03093649709164525
20. Paysant J. Influence of terrain on metabolic and temporal gait characteristics of unilateral transtibial amputees. *JRRD.* 2006. 43(2): 153-60. DOI:10.1682/JRRD.2005.02.0043
21. Hagberg K, Häggström E, Branemark R. Physiological cost index (PCI) and walking performance with transfemoral prostheses compared to healthy controls. *Disability and Rehabil.* 2007. 29(8): 643-649. DOI: 10.1080/09638280600902869

22. Esposito ER et al. Does unilateral transtibial amputation lead to a greater metabolic demand during walking? *JRRD*. 2014. 51(8) 1287-1296. DOI: 10.1682/JRRD.2014.06.0141
23. Mengelkoch LJ, Kahle JT, Highsmith MJ. Energy costs and performance of transtibial amputees and non-amputees during walking and running. *Int J Sports Med*. 2014. 35: 1223-1228. DOI: 10.1055/s-0034-1382056
24. Khiri F et al. An assessment of stability, gait performance and energy consumption in individuals with transfemoral amputation. *J Mech Med Biol*. 2015. 15(4). DOI:10.1142/S0219519415500499
25. Starholm IM et al. Energy expenditure of transfemoral amputees during floor and treadmill walking with diferente speeds. *Prosthet Orthot Int*. 2015. 40(3): 336-342. DOI: 10.1177/0309364615588344
26. Mengelkoch LJ, Kahle JT, Highsmith MJ. Energy costs and performance of transfemoral amputees and non-amputees during walking and running: A pilot study. *Prosthet Orthot Int*. 2017. 41(5): 484-491.
27. Jarvis HL et al. Temporal spatial and metabolic measures of walking in highly functional individuals with lower limb amputations. *Arch Phys Med Rehabil*. 2016. 98(7): 1389-1399. DOI: 10.1016/j.apmr.2016.09.134
28. Gjovaag T, Mirtaheri P, Starholm IM. Carbohydrate and fat oxidation in persons with lower limb amputation during walking with different speeds. *Prosthet Orthot Int*. 2017. 42(4): 304-310. DOI: 10.1177/0309364617740237
29. Esposito ER, Rábago CA, Wilken J. The influence of traumatic transfemoral amputation on metabolic costs across walking speeds. *Prosthet Orthot Int*. 2018. 42(2): 214-222. DOI: 10.1177/0309364617708649
30. Miller RH, Bell EM, Esposito ER. Transfemoral limb loss modestly increases the metabolic cost of optimal control simulations of walking. *PeerJ*. 2024. 12:e16756. DOI: [10.7717/peerj.16756](https://doi.org/10.7717/peerj.16756).
31. Hafner BJ et al. Effects of prosthetic feet on metabolic energy expenditure in people with transtibial amputation: A systematic review and meta-analysis. *PM R*. 2022. 14(9):1099-1115. DOI:10.1002/pmrj.12693.
32. Mazzarini A et al. Improving Walking Energy Efficiency in Transtibial Amputees Through the Integration of a Low-Power Actuator in an ESAR Foot. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2024. 32:1397-1406. DOI: 10.1109/TNSRE.2024.3379904.
33. Traballesi M et al. Energy cost of walking in subjects with lower limb amputations: A comparison study between floor and treadmill test. *Gait Posture*. 2008. 27: 70-75. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2007.01.006
34. Carse B et al. A characterisation of established unilateral transfemoral amputee gait using 3D kinematics, kinetics and oxygen consumption measures. *Gait Posture*. 2020. 75:98-104. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.09.029
35. Tesio L, Lanzi D, Detrembleur C. The 3-D motion of the centre of gravity of the human body during level walking. II. Lower limb amputees. *Clin Biomech*. 1998. 13: 83-90. DOI: 10.1016/s0268-0033(97)00081-8
36. Detrembleur C et al. Relationship between energy cost, gait speed, vertical displacement of the centre of body mass and efficiency of pendulum-like mechanism in unilateral amputee gait. *Gait Posture*. 2005. 21(3): 333-40.
37. Willems PA, Cavagna GA, Heglund NC. External, internal and total work in human locomotion.

*J Exp Biol.* 1995. 198: 379–93. DOI: 10.1242/jeb.198.2.379

38. Brunelli S et al. Which is the best way to perform the physiological cost index in active individuals with unilateral trans-tibial amputation? *Can Prosthet Orthot J.* 2019. 2(1): 32953. DOI: [10.33137/cpoj.v2i1.32953](https://doi.org/10.33137/cpoj.v2i1.32953)
39. Villasolli TO et al. Energy expenditure and walking speed in lower limb amputees: A cross sectional study. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2014. 16(4): 419-26. DOI: 10.5604/15093492.1119619
40. Göktepe AS et al. Energy expenditure of walking with prostheses: Comparison of three amputation levels. *Prosthet Orthot Int.* 2010. 34(1) 31-36.