

ANÁLISE DO GASTO ENERGÉTICO EM INDIVÍDUOS COM AMPUTAÇÃO DURANTE ATIVIDADES FÍSICAS: REVISÃO SISTEMÁTICA

ANALYSIS OF ENERGY EXPENDITURE IN INDIVIDUALS WITHS AMPUTATION DURING PHYSICAL ACTIVITIES: SYSTEMATIC REVIEW

Helton Oliveira Campos
Lucas Rios Drummond
Elisabeth Queiroz de Paula

Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Carangola, Departamento de Ciências Biológicas, Carangola, MG, Brasil.

Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Divinópolis, Curso de Educação Física, Divinópolis, MG, Brasil.

Universidade Federal de Juiz de Fora, Núcleo do Grupo de Pesquisa em Inclusão, Movimento e Ensino a Distância, Juiz de Fora, MG, Brasil.

Resumo

O objetivo do trabalho foi analisar por meio de uma revisão sistemática o gasto energético em indivíduos com amputação (transtibial e transfemoral). Esta revisão sustentou-se nas seguintes bases de dados: PubMed, SPORTDiscus e Web of Science, utilizando uma combinação das seguintes palavras-chave: *energy expenditure, handicapped, physically disability, amputee, prostheses, sports, physical exercise*. Um total de 1057 artigos foi identificado nas bases de dados. Após a exclusão das duplicatas e dos artigos que não estavam de acordo com os critérios de elegibilidade, a partir da leitura dos títulos, resumos e artigos completos, 17 artigos foram selecionados para inclusão na revisão sistemática. Os artigos foram agrupados em duas categorias diferentes: 1) artigos que analisaram o gasto energético em indivíduos com amputação comparado a indivíduos sem amputação e 2) artigos que analisaram o gasto energético em indivíduos com amputação utilizando diferentes próteses e em diferentes atividades. A presente revisão sistemática indica que os indivíduos com amputação apresentam maior gasto energético durante a deambulação do que indivíduos sem amputação. Além disso, pode-se acrescentar que: 1) a amputação transfemoral gera um maior gasto energético do que a amputação transtibial, 2) quanto maior a velocidade e a inclinação da superfície de deambulação maior o gasto energético para indivíduos com amputação, 3) indivíduos com amputação que utilizam muletas para deambular apresentam maior gasto energético em comparação a indivíduos com amputação que utilizam próteses.

Palavras-chave: Atividade Motora Adaptada. Gasto Energético. Amputação. Próteses.

Abstract

The objective of this study was to analyze, through a systematic review, the energy expenditure in individuals with amputation (transtibial and transfemoral). This review was supported by the following databases: PubMed, SPORTDiscus and Web of Science, using a combination of the following keywords:

energy expenditure, handicapped, physical disability, amputee, prostheses, sports, physical exercise. A total of 1057 articles were identified in the databases. After excluding duplicates and articles that did not meet the eligibility criteria, after reading the titles, abstracts and full articles, 17 articles were selected for inclusion in the systematic review. The articles were grouped into two different categories: 1) articles that analyzed energy expenditure in individuals with amputations compared to individuals without amputations and 2) articles that analyzed energy expenditure in individuals with amputations using different prostheses and in different activities. The present systematic review indicates that individuals with amputations have higher energy expenditure during ambulation than individuals without amputations. In addition, it can be added that: 1) transfemoral amputation generates a higher energy expenditure than transtibial amputation, 2) the greater the speed and inclination of the ambulation surface, the greater the energy expenditure for individuals with amputation, 3) with amputations who use crutches to walk have higher energy expenditure compared to individuals with amputations who use prostheses.

Keywords: Adapted Motor Activity. Energy Expenditure. Amputee. Prostheses.

1 Introdução

A deficiência física caracteriza-se por um distúrbio da estrutura anatômica ou da função que interfere na movimentação e/ou locomoção do indivíduo (TELFORD; SAWREY, 1978; GOMES *et al.*, 2014). Esta deficiência pode resultar de prejuízos ou da inatividade do sistema locomotor. Lesões afetando os membros inferiores podem alterar o padrão de marcha, as necessidades energéticas e resultar em menores níveis de atividade física (GOMES *et al.*, 2014; McGUIRE *et al.*, 2017). As deficiências físicas podem ocorrer em graus e tipos variados, resultando em maior ou menor comprometimento da funcionalidade e das habilidades físicas, podendo acarretar em dificuldades para o trabalho e convívio social. Inquérito realizado a partir da Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) 2019 indicou que no Brasil, cerca de 8,4% das pessoas acima de 2 anos de idade (17,3 milhões de pessoas) apresentam alguma deficiência relacionada a uma de suas funções, sendo que a deficiência física relacionada aos membros inferiores e superiores representam 3,8 e 2,7%, respectivamente (PNS, 2019). Dentre os diversos tipos de deficiências físicas o foco deste estudo será a amputação, procedimento comum utilizado no tratamento de etiologias vasculares, oncológicas ou traumáticas (BUSSMANN; SCHRAUWEN; STAM, 2008). Dados do DataSUS indicam que no ano de 2021 foram realizadas 64927 amputações de membros inferiores e superiores no Brasil, sendo que 41% destes procedimentos foram realizados nos estados da região Sudeste (MINISTÉRIO DA SAÚDE).

A amputação é conceituada como a retirada total ou parcial de um membro, podendo ocorrer de forma traumática ou cirúrgica. É importante ressaltar que a amputação deve estar associada a um contexto de tratamento e não como a sua única parte, visando à melhora da qualidade de vida do paciente. Esta cirurgia objetiva retirar o membro acometido e oportunizar perspectivas para a melhora da função da região com amputação (BRASIL, 2013).

Indivíduos com amputação são subdivididos em categorias baseando-se na etiologia e no nível da amputação. As duas principais divisões etiológicas são traumáticas e vasculares. Estes grupos de indivíduos com amputação podem apresentar grandes diferenças em termos de idade, frequência relativa, severidade das comorbidades e níveis basais de mobilidade resultando em demandas diferenciadas para atividades físicas e esportivas (SHAH *et al.*, 2013).

Os níveis de amputação do membro inferior são o transtibial, transfemoral e a hemipelvectomy (DILLINGHAM; PEZZIN; SHORE, 2005), sendo a amputação transfemoral e transtibial os níveis mais frequentes de amputação (EPHRAIM *et al.*, 2003). A amputação transtibial é realizada entre a articulação tibiotársica e a do joelho, sendo esta amputação no mínimo duas vezes mais comum que em outros níveis. Já a amputação transfemoral, refere-se a toda amputação realizada entre a articulação do joelho e quadril (CARVALHO, 2003). O nível da amputação resulta em perda diferenciada das estruturas articulares e da função sensoriomotora da extremidade, podendo alterar de maneira significativa a marcha e as adaptações biomecânicas necessárias para deambular (CZERNIECKI, 1996). Isto se torna importante uma vez que um nível mais distal se encontra associado a maior utilização da prótese (RAICHLE *et al.*, 2008), já que a falta do joelho humano afeta a força e o equilíbrio muscular em torno do quadril no paciente com amputação (GOTTSCHALK, 1999).

Indivíduos com amputação podem necessitar de adaptações, tais como, cadeiras de rodas e próteses para aumentar a mobilidade e facilitar a locomoção e compensar as limitações físicas (FITZGERALD *et al.*, 2007). Estes dispositivos geram uma sobrecarga externa que poderia gerar aumento do gasto energético durante as atividades físicas e esportivas realizadas pelos deficientes.

As diversas adaptações requeridas após as amputações podem contribuir para a redução na mobilidade, capacidade funcional e no nível de atividade física (MARTINS; RABELO, 2000; SANTOS; VARGAS; MELO, 2014). Além disso, já foi demonstrado que indivíduos que utilizam próteses em membros inferiores apresentam maior gasto energético durante a caminhada em comparação a indivíduos sem limitações físicas (GAILEY *et al.*, 1994; ESPOSITO; RÁBAGO; WILKEN, 2017). Este maior gasto energético tem sido associado a movimentos assimétricos dos membros, prejuízo no controle sensorio-motor, padrão anormal da contração muscular e transferência de energia anormal (ORENDURFF *et al.*, 2006). Na tentativa de reduzir este elevado gasto energético durante a deambulação em indivíduos com amputação, pesquisadores tentam desenvolver próteses e/ou órteses mais modernas e leves (WONG *et al.*, 2012).

Uma vez que os indivíduos com amputação utilizam adaptações para melhorar a locomoção e estas atuam como uma sobrecarga externa, torna-se interessante analisar

o gasto energético nestes indivíduos durante atividades físicas e esportivas. Desta forma, o objetivo do trabalho será analisar por meio de uma revisão sistemática o gasto energético em indivíduos com amputação (transtibial e transfemoral) comparado a indivíduos sem amputação. Além disso, analisar o gasto energético em indivíduos com amputação (transtibial e transfemoral) com utilização de diferentes próteses e em diferentes atividades.

2 Método

Neste estudo, foi realizada uma revisão sistemática nas seguintes bases de dados: PubMed, SPORTDiscus e Web of Science, utilizando uma combinação das seguintes palavras-chave: *energy expenditure AND handicapped OR physically disability OR amputee OR prostheses*. Adicionalmente foi realizada a busca manual nas referências dos estudos incluídos na pesquisa. Não houve restrições quanto à língua ou ano da publicação. A revisão sistemática foi conduzida de acordo com as diretrizes do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (PAGE *et al.*, 2021).

Após a finalização da pesquisa bibliográfica, a seleção dos artigos foi realizada seguindo as seguintes etapas: exclusão de duplicatas, leitura de títulos, leitura dos resumos e leitura do artigo na íntegra. Foram incluídos nesta revisão sistemática, estudos que avaliaram o gasto energético em indivíduos com amputação (transtibiais e transfemorais) durante atividades físicas e esportivas. Revisões, estudos de caso, estudos que avaliaram o gasto energético de repouso em indivíduos com amputação e estudos que utilizaram predição/estimativa do gasto energético não foram incluídos na revisão sistemática.

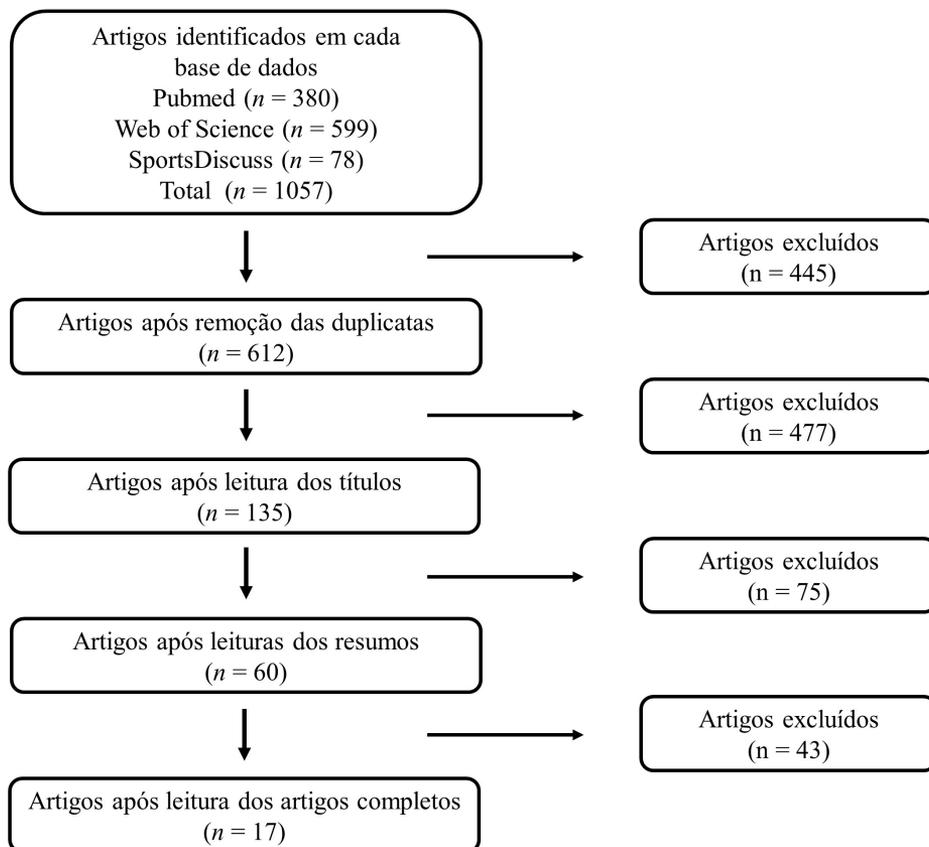
Foram extraídas dos artigos as seguintes informações: autor e ano do artigo, n amostral utilizado na coleta de dados, tipo de amputação da amostra e o tipo de prótese utilizado, teste/atividade onde foi mensurado o gasto energético, a medida utilizada e os valores encontrados.

Os artigos foram agrupados em duas categorias diferentes: 1) artigos que analisaram o gasto energético em indivíduos com amputação comparado a indivíduos sem amputação (controle) e 2) artigos que analisaram o gasto energético em indivíduos com amputação utilizando diferentes próteses e em diferentes atividades.

3 Resultados

Um total de 1057 artigos foi identificado nas bases de dados. Após a exclusão das duplicatas e dos artigos que não estavam de acordo com os critérios de elegibilidade, a partir da leitura dos títulos, resumos e artigos completos, 17 artigos foram selecionados para inclusão na revisão sistemática (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos estudos



Fonte: elaboração própria

Dos 17 artigos selecionados, nove compararam o gasto energético em indivíduos com amputação (196 indivíduos) a indivíduos sem amputação (106 indivíduos) (Tabela 1), enquanto oito analisaram o gasto energético em indivíduos com amputação utilizando diferentes próteses e em diferentes atividades (151 indivíduos) (Tabela 2). Pode-se notar que as análises foram realizadas predominantemente em homens (75 %) e a variação da idade média da amostra foi 20,9 a 61 anos.

Quatro artigos demonstraram que o gasto energético durante a deambulação em indivíduos com amputação transfemoral é maior que indivíduos sem amputação (ESPOSITO; RÁBAGO; WILKEN, 2017; GAILEY *et al.*, 1993; GJOVAAG *et al.*, 2014; CARSE *et al.*, 2020), quatro artigos demonstraram que o gasto energético durante a deambulação em indivíduos com amputação transtibial é maior que indivíduos sem amputação (GAILEY *et al.*, 1994; GAILEY *et al.*, 1997; PAYSANT

et al., 2006; SCHNALL *et al.*, 2012), enquanto um artigo demonstrou que o gasto energético durante a deambulação em indivíduos com amputação transfemoral é maior que em indivíduos com amputação transtibial (GENIN *et al.*, 2008) (Tabela 1).

Boonstra *et al.*, 1995 demonstraram que indivíduos com amputação transfemoral utilizando prótese mecânica (O.B.3R20) apresenta maior gasto energético durante a deambulação que indivíduos com amputação transfemoral utilizando prótese pneumática (Tehlin). Buckley; Jones; Birch, 2002 observaram que quanto maior a velocidade da deambulação, maior o gasto energético da deambulação em indivíduos com amputação transtibial utilizando uma prótese equipada com um dispositivo de teletorção. Este dispositivo amortece os choques durante a deambulação, tornando este processo mais confortável ao paciente. Darter; Wilken, 2013 avaliaram o gasto energético durante a deambulação em indivíduos com amputação transtibial em diferentes inclinações (-5° , 0° e 5°), e demonstrou que quanto maior a inclinação da superfície maior o gasto energético. Mohanty *et al.* 2012 demonstraram que indivíduos com amputação transtibial utilizando muleta axilar para deambulação apresentam maior gasto energético comparado a indivíduos com amputação transtibial utilizando próteses. Traballesi *et al.*, 2008 observaram que a deambulação em esteira gera um maior gasto energético comparado a deambulação no chão em indivíduos com amputação transtibial e transfemoral. Li *et al.*, 2019 demonstraram que para todas as 4 próteses utilizadas o custo de oxigênio aumentou com o aumento da velocidade da caminhada. Além disto, em todas as velocidades o custo de oxigênio da prótese mecânica Mauch foi maior do que as outras 3 próteses controladas por microprocessador (Tabela 2).

Tabela 1 - Características dos artigos que analisaram o gasto energético em indivíduos com amputação comparado a indivíduos sem amputação (controle)

Autor (ano)	n (/)	Idade	Tipo de am- putação	Teste/Atividade	Medida	Valores
Car-se (2020)	10 (5/5)	51 ± 9	Controle	Caminhada com ve- locidade auto-selecio- nada	CO	0,18 ± 0,02 mL.kg ⁻¹ .m ⁻¹
	60 (49/11)	51,1 ± 15,2	Transfemoral	Caminhada com ve- locidade auto-selecio- nada	CO	0,28 ± 0,1 mL.kg ⁻¹ .m ⁻¹

E s - p o s i t o (2017)	14 (-/-)	26 ± 6	Controle	Caminhada na esteira 0,72 m/s	CM	0,22 ± 0,03 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada na esteira 0,79 m/s	CM	0,19 ± 0,02 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada na esteira 1,21 m/s	CM	0,18 ± 0,02 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada na esteira 1,45 m/s	CM	0,18 ± 0,02 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
	14 (-/-)	27 ± 5	Transfemoral	Caminhada na esteira 0,72 m/s	CM	0,32 ± 0,06 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada na esteira 0,79 m/s	CM	0,27 ± 0,04 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada na esteira 1,21 m/s	CM	0,26 ± 0,03 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada na esteira 1,45 m/s	CM	0,26 ± 0,03 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
Gailey (1993)	10 (-/-)	33,2 ± 9,6	Controle	Caminhada 33,5 m/ min	ConsO	8,48 ± 1,08 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada 67,5 m/ min	ConsO	11,08 ± 1,88 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
	10 (-/-)	37,2 ± 11,0	Transfemoral	Caminhada 33,5 m/ min (CAT-CAM)	ConsO	10,37 ± 1,34 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada 67,5 m/ min (CAT-CAM)	ConsO	15,12 ± 1,89 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
	10 (-/-)	34,6 ± 9,8	Transfemoral	Caminhada 33,5 m/ min (quadrilateral)	ConsO	11,72 ± 2,70 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada 67,5 m/ min (quadrilateral)	ConsO	18,98 ± 5,52 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
Gailey (1994)	21 (21/0)	31 ± 6	Controle	Caminhada em veloci- dade auto selecionada	ConsO	10,88 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
	39 (39/0)	47 ± 16	Transtibial	Caminhada em veloci- dade auto selecionada	ConsO	12,87 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
Gailey (1997)	10 (10/0)	34,0 ± 12,9	Controle	Caminhada de 76 m/ min por minutos	ConsO	11,4 ± 1,2 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
	10 (10/0)	37,8 ± 10,4	Transtibial	Caminhada de 76 m/ min por minutos	ConsO	13,7 ± 2,3 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
Genin (2008)	7 (7/0)	31,4 ± 3,6	Controle	Caminhada em difer- entes velocidades (0,3 m/s a 2,3 m/s)	CT	3,8 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
	9 (9/0)	35,3 ± 7,2	Transtibial	Caminhada em difer- entes velocidades (0,3 m/s a 2,3 m/s)	CT	4,3 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
	10 (10/0)	34,7 ± 5,1	Transfemoral	Caminhada em difer- entes velocidades (0,3 m/s a 2,3 m/s)	CT	5,8 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
Gjovaag (2013)	12 (6/6)	43,0 ± 11,7	Controle	Teste de caminhada em esteira	EC	0,16 ± 0,01 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
	12 (6/6)	42,8 ± 13,5	Transfemoral	Teste de caminhada em esteira	EC	0,24 ± 0,06 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹

Paysant (2006)	10 (10/0)	39,7	Controle	Caminhada em asfalto	CO	0,147 ± 0,020 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada em grama cortada	CO	0,156 ± 0,022 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada em grama alta	CO	0,182 ± 0,023 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
	10 (10/0)	39,2	Transtibial	Caminhada em asfalto	CO	0,163 ± 0,015 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada em grama cortada	CO	0,171 ± 0,010 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada em grama alta	CO	0,245 ± 0,015 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
Schnall (2012)	12 (12/0)	20,9 ± 2,8	Controle	Caminhada 1,34 m/s (carga de 32,7 kg)	ConsO	20,4 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada 1,52 m/s (carga de 32,7 kg)	ConsO	23,8 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
	12 (12/0)	26,9 ± 5,5	Transtibial	Caminhada 1,34 m/s (carga de 32,7 kg)	ConsO	22,2 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
				Caminhada 1,52 m/s (carga de 32,7 kg)	ConsO	26,4 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹

Legenda: CO = Custo de oxigênio; CM = Custo Metabólico; ConsO – Consumo de oxigênio; CT = Custo de Transporte; EC = Economia da caminhada

Fonte: elaboração própria

Tabela 2 - Características dos artigos que analisaram o gasto energético em indivíduos com amputação utilizando diferentes próteses e em diferentes atividades

Autor (ano)	n (M/F)	Idade	Tipo de amputação	Tipo de prótese	Teste/Atividade	Medida	Valores
Boonstra (1995)	28 (24/4)	40	Transfemoral	Mecânica (O.B.3R20)	Caminhada de 6 minutos a 2 km/h	GE	3,53 ± 0,47 J.s ⁻¹ .kg ⁻¹
					Caminhada de 6 minutos a 3 km/h	GE	4,32 ± 0,43 J.s ⁻¹ .kg ⁻¹
				Pneumática (Tehlin)	Caminhada de 6 minutos a 2 km/h	GE	3,33 ± 0,37 J.s ⁻¹ .kg ⁻¹
					Caminhada de 6 minutos a 3 km/h	GE	4,23 ± 0,39 J.s ⁻¹ .kg ⁻¹
Buckley (2002)	6 (6/0)	39,5 ± 9,9	Transtibial	Prótese equipada com um dispositivo de tele torção	Caminhada a velocidade normal	ConsO	10,90 ± 1,81 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 130% velocidade normal	ConsO	12,35 ± 2,42 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 160% velocidade normal	ConsO	14,4 ± 3,12 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹

Darter (2013)	6 (5/1)	30 ± 4	Transtibial	Prótese mecânica	Caminhada com inclinação de -5°	CE	0,89 m/s: 3,55 ± 0,62 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
						CE	1,12 m/s: 3,38 ± 0,68 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
						CE	1,34 m/s: 3,34 ± 0,83 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					Caminhada sem inclinação (0°)	CE	0,89 m/s: 4,18 ± 0,67 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
						CE	1,12 m/s: 3,84 ± 0,58 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
						CE	1,34 m/s: 3,88 ± 0,80 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					Caminhada com inclinação de 5°	CE	0,89 m/s: 7,32 ± 0,85 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
						CE	1,12 m/s: 7,13 ± 0,79 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
						CE	1,34 m/s: 7,13 ± 0,64 J.kg ⁻¹ .m ⁻¹
Goktepe (2010)	31 (31/0)	28,1 ± 5,1	Transtibial	-	1,5 km/h 0° inclinação	CO	0,28 ± 0,07 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					3 km/h, 0° inclinação	CO	0,18 ± 0,05 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					1,5 km/h, 5° inclinação	CO	0,31 ± 0,07 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					3 km/h, 5° inclinação	CO	0,22 ± 0,05 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					1,5 km/h 0° inclinação	CO	0,31 ± 0,08 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					3 km/h, 0° inclinação	CO	0,20 ± 0,04 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					1,5 km/h, 5° inclinação	CO	0,34 ± 0,08 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
					3 km/h, 5° inclinação	CO	0,22 ± 0,04 ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹
Mohanty (2012)	30 (26/4)	34,1 ± 4,4	Transtibial	Prótese	Caminhada em velocidade auto selecionada	GE	1,33 ± 0,40 kcal/min
				Muleta axilar	Caminhada em velocidade auto selecionada	GE	2,56 ± 1,03 kcal/min

Li (2019)	10 (7/3)	31.7 ± 9,1	Transfemoral	i-KNEE	Caminhada a 0,5 m/s	CE	12,46 ± 1,35 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 0,7 m/s	CE	13,55 ± 1,62 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 0,9 m/s	CE	14,52 ± 1,98 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 1,1 m/s	CE	18,36 ± 2,04 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 1,3 m/s	CE	20,55 ± 2,85 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 0,5 m/s	CE	12,35 ± 1,27 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 0,7 m/s	CE	14,02 ± 1,58 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 0,9 m/s	CE	14,86 ± 1,84 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 1,1 m/s	CE	18,75 ± 1,95 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 1,3 m/s	CE	20,85 ± 2,55 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
			RheoKnee	Caminhada a 0,5 m/s	CE	12,24 ± 1,42 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	
				Caminhada a 0,7 m/s	CE	13,65 ± 1,74 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	
				Caminhada a 0,9 m/s	CE	14,74 ± 1,92 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	
				Caminhada a 1,1 m/s	CE	18,52 ± 2,10 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	
				Caminhada a 1,3 m/s	CE	20,72 ± 2,65 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	
				Mauch	Caminhada a 0,5 m/s	CE	12,52 ± 1,32 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 0,7 m/s	CE	14,12 ± 1,68 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 0,9 m/s	CE	15,25 ± 2,05 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 1,1 m/s	CE	19,25 ± 2,58 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
					Caminhada a 1,3 m/s	CE	22,35 ± 3,25 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹
Traballesi (2008)	8 (6/2)	56 ± 17	Transtibial	-	Caminhada no chão	CE	0,40 ± 0,17 ml.m ⁻¹ .kg ⁻¹
					Caminhada na esteira	CE	1,00 ± 0,68 ml.m ⁻¹ .kg ⁻¹
	16 (11/5)	61 ± 11	Transfemoral	-	Caminhada no chão	CE	0,54 ± 0,17 ml.m ⁻¹ .kg ⁻¹
					Caminhada na esteira	CE	1,40 ± 0,59 ml.m ⁻¹ .kg ⁻¹
Traballesi (2011)	7 (6/1)	33,9 ± 9,4	Transfemoral	-	Teste com MAS	CE	0,26 ± 0,60 ml.m ⁻¹ .kg ⁻¹
					Teste com IC	CE	0,23 ± 0,44 ml.m ⁻¹ .kg ⁻¹

Legenda: GE = Gasto Energético; ConsO = Consumo de oxigênio; CE = Custo Energético; CO = Custo de oxigênio

Fonte: elaboração própria

4 Discussão

A presente revisão sistemática demonstra que os indivíduos com amputação apresentam maior gasto energético durante a deambulação do que indivíduos sem amputação. Além disso, pode-se acrescentar que indivíduos com amputação transfemoral

apresentam um maior gasto energético do que indivíduos com amputação transtibial. Adicionalmente, observa-se que em indivíduos com amputação quanto maior a velocidade e a inclinação da superfície de deambulação maior o gasto energético e que indivíduos com amputação com utilização de muletas para deambular apresentam maior gasto energético em comparação a indivíduos com amputação que utilizam próteses.

A amputação resulta em redução da mobilidade funcional e isto pode gerar uma perda da qualidade de vida nestes indivíduos (SUCKOW *et al.*, 2015). Esta redução da mobilidade pode ser causada por diversos fatores, dentre eles, limitações relacionadas à escolha das próteses e dos seus componentes, à presença de comorbidades, bem como o desenvolvimento de incapacidades secundárias (CZERNIECKI; MONGENROTH, 2017). Uma vez que o aumento do gasto energético durante a deambulação em indivíduos com amputação tem sido sugerido como causa da mobilidade reduzida nesta população, é importante entender o efeito da amputação no gasto energético e também como as inovações tecnológicas ocorridas nas próteses interferem neste parâmetro fisiológico.

O desenvolvimento de próteses com massa cada vez mais reduzida tem sido uma prioridade para os pesquisadores, uma vez que a redução da massa da prótese poderia gerar um impacto positivo no gasto energético da deambulação, isto é, redução do gasto energético da deambulação. Melhorias nos componentes da prótese e na tecnologia de montagem nos últimos anos são destinadas a reduzir o gasto energético e a melhorar a mobilidade do indivíduo com amputação. No entanto, os resultados experimentais em indivíduos com amputação transtibial e transfemoral não confirmam esta hipótese inicial (CZERNIECKI; GITTER, 1994). Lin-Chan *et al.*, 2003 analisaram o efeito da massa da prótese nas respostas fisiológicas em indivíduos com amputação transtibial durante a deambulação em diferentes velocidades. Foi observado que a massa da prótese não alterou significativamente o consumo de oxigênio e a eficiência da deambulação, indicando que próteses mais pesadas não aumentam o gasto energético da deambulação.

Níveis mais baixos de atividade física em indivíduos com amputação podem estar associados ao medo de cair e ao maior gasto energético causado pela deambulação com a prótese. Nesse contexto, a avaliação da atividade física em grupos específicos, como os indivíduos com amputação, é um parâmetro importante para o delineamento e implementação de intervenções para promover um estilo de vida mais ativo, levando à melhoria da qualidade de vida desses sujeitos (BUSSMANN; GROOTSCHLTEN; STAM, 2004; LIN; BOSE, 2008).

A deambulação independente com uma prótese de membro inferior é uma meta a ser alcançada em indivíduos com amputação do membro inferior. No entanto, este retorno à deambulação pode ser prejudicado pelo elevado gasto metabólico que ocorre

durante a atividade. É conhecido que indivíduos com amputação de membros inferiores gastam mais energia do que indivíduos sem amputação durante a deambulação. Além disso, amputações mais proximais (ex: transfemoral) estão associadas a maior consumo de energia do que amputações mais distais (ex: transtibial) (GENIN *et al.*, 2008; SCHMALZ BLUMENTRITT; JARASCH, 2002).

Em velocidades similares de deambulação indivíduos com amputação transfemoral apresentam gasto energético maior em torno de 20-60% comparado a indivíduos sem amputação (CHIN *et al.*, 2003; WEZENBERG *et al.*, 2013). Este elevado gasto energético pode estar relacionado em parte ao número, tipo e magnitude das compensações para controlar o equilíbrio e a propulsão. Indivíduos com amputação transfemoral não possuem força muscular biológica para movimentar o tornozelo, e compensam gerando um aumento do trabalho mecânico na musculatura do quadril, que possui uma menor eficiência mecânica para continuar a propulsão (HOUDIJK *et al.*, 2009; MICHAUD; GARD; CHILDRESS, 2000).

Mohanty *et al.* (2012) teve por objetivo comparar o gasto energético da deambulação em indivíduos com amputação transtibial utilizando próteses e muletas axilares. Os resultados do estudo demonstram que a utilização da prótese é mais efetiva na conservação de energia em indivíduos com amputação transtibial. Os dados sobre consumo de oxigênio, frequência cardíaca e gasto energético indicam que os indivíduos com amputação transtibial deambulam com menos esforço usando próteses em comparação às muletas axilares.

Entender as dificuldades enfrentadas pelos indivíduos com amputação pode viabilizar a reabilitação e recuperar a função e a qualidade de vida após as amputações (ROBBINS *et al.*, 2009). A possibilidade de manter a deambulação na comunidade permite melhor autocuidado, menor nível de dependência, maior interação social e menor isolamento por parte do indivíduo com amputação; por isso, a predição do resultado funcional da reabilitação dos indivíduos com amputação é geralmente medida pela habilidade em utilizar a prótese, além do acesso a atividades comunitárias (WAN-NAR-WONG, 2005). As órteses são utilizadas para ajudar na deambulação e no desempenho das atividades de vida diária e podem influenciar a imagem corporal, as atividades vocacionais e outros pontos de socialização. As alterações de marcha, a redução das atividades e outras adaptações adicionais impactam sobre todo o corpo (GAILEY *et al.*, 2008).

Esta revisão sistemática apresenta os manuscritos que analisaram o gasto energético em indivíduos com amputação (transtibial e transfemoral) com a indivíduos sem amputação, e em indivíduos com amputação com utilização de diferentes próteses e em diferentes atividades. Análises futuras visando entender (I) as diferenças no gasto energético de indivíduos com amputação fisicamente ativas e inativas, (II) comparação

entre indivíduos com amputação unilateral vs. bilateral, (III) comparação entre a causa de amputação, i.e, por motivo de doença vs. traumática são estimuladas visando aprofundar o conhecimento sobre esta temática.

5 Conclusão

A presente revisão sistemática indica que os indivíduos com amputação apresentam maior gasto energético durante a deambulação do que indivíduos sem amputação. Além disso, pode-se acrescentar que: 1) a amputação transfemoral gera um maior gasto energético do que a amputação transtibial, 2) quanto maior a velocidade e a inclinação da superfície de deambulação maior o gasto energético para indivíduos com amputação, 3) indivíduos com amputação que utilizam muletas para deambular apresentam maior gasto energético em comparação a indivíduos com amputação que utilizam próteses.

Referências

BOONSTRA, A.M. *et al.* Energy cost during ambulation in transfemoral amputees: a knee joint with a mechanical swing phase control vs a knee joint with a pneumatic swing phase control. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, v. 27, n. 2, p. 77-81, 1995

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. *Diretrizes de atenção à pessoa amputada*. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2013.

BUCKLEY, J.G.; JONES, S.F.; BIRCH, K.M. Oxygen consumption during ambulation: comparison of using a prosthesis fitted with and without a tele-torsion device. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 83, n. 4, p. 576-80, 2002.

BUSSMANN, J.B.; GROOTSCHLTEN, E.A.; STAM, H.J. Daily physical activity and heart rate response in people with a unilateral transtibial amputation for vascular disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 85, n. 2, p. 240-244, 2004.

BUSSMANN, J.B.; SCHRAUWEN, H.J.; STAM, H.J. Daily physical activity and heart rate response in people with a unilateral traumatic transtibial amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 89, n. 3, p. 430-34, 2008.

CARVALHO JA. *Amputações de membros inferiores: em busca de plena reabilitação*. São Paulo: Manole, 2003.

CARSE, B. *et al.* A characterisation of established unilateral transfemoral amputee gait using 3D kinematics, kinetics and oxygen consumption measures. *Gait Posture*, v. 75, p. 98-104, 2020.

CHIN, T. *et al.* Effect of an inteligente prosthesis (IP) on the walking ability of young transfemoral amputees: comparison of IP users with able-bodied people. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 82, n. 6, p. 447-51, 2003.

CZERNIECKI, J.M.; GITTER, A.; WEAVER, K. Effect of alterations in prosthetic shank mass on the metabolic costs of ambulation in above-knee amputees. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 73, n. 5, p. 348-52, 1994.

- CZERNIECKI, J.M. Rehabilitation in limb deficiency. 1. Gait and motion analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 77, n. 3 suppl, p. S3-8, 1996.
- CZERNIECKI, J.M.; MORGENROTH, D.C. Metabolic energy expenditure of ambulation in lower extremity amputees: what have we learned and what are the next steps? *Disability and Rehabilitation*, v. 39, n. 2, p. 143-51, 2017.
- DARTER, B.J.; WILKEN, J.M. Energetic consequences of using a prosthesis with adaptive ankle motion during slope walking in persons with a transtibial amputation. *Prosthetics and Orthotics International*, v. 38, n. 1, p. 5-11, 2014.
- DILLINGHAM, T.R.; PEZZIN, L.E.; SHORE, A.D. Reamputation, mortality, and health care costs among persons with dysvascular lower-limb amputations. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 86, n. 3. p. 480-86, 2005.
- EPHRAIM, P.L. *et al.* Epidemiology of limb loss and congenital limb deficiency: a review of the literature. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 84, n. 5, p. 747-61, 2003.
- ESPOSITO, E.R.; RÁBAGO, C.A.; WILKEN, J. The influence of traumatic transfemoral amputation on metabolic cost across walking speeds. *Prosthetics and Orthotics International*, v. 42, n. 2, p. 214-222, 2017.
- FITZGERALD, S.G. *et al.* The development of a nationwide registry of wheelchair users. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, v. 2, n. 6, p. 358-65, 2007.
- GAILEY, R.S. *et al.* The CAT-CAM socket and quadrilateral socket: a comparison of energy cost during ambulation. *Prosthetics and Orthotics International*, v. 17, n. 2, p. 95-100, 1993.
- GAILEY, R.S. *et al.* Energy expenditure of trans-tibial amputees during ambulation at self-selected pace. *Prosthetics and Orthotics International*, v. 18, n. 2, p. 84-91, 1994.
- GAILEY, R.S. *et al.* The effects of prosthesis mass on metabolic cost of ambulation in non-vascular trans-tibial amputees. *Prosthetics and Orthotics International*, v. 21, n. 1, p. 9-16, 1997.
- GAILEY, R.S. *et al.* Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, v. 45, n. 1, p. 15-29, 2008.
- GJOVAAG, T. *et al.* Assessment of aerobic capacity and walking economy of unilateral transfemoral amputees. *Prosthetics and Orthotics International*, v. 38, n. 2, p. 140-47, 2014,
- GOMES, I.S. *et al.* Basal and resting metabolic rates of physically disabled adult subjects: a systematic review of controlled cross-sectional studies. *Annals of Nutrition and Metabolism*, v. 65, n. 4, p. 243-52, 2014.
- GENIN, J.J. *et al.* Effect of speed on the energy cost of walking in unilateral traumatic lower limb amputees. *European Journal of Applied Physiology*, v. 103, n. 6, p. 655-63, 2008.
- GOTTSCHALK, F. Transfemoral amputation. Biomechanics and surgery. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, v. 361, p. 15-22.,1999.
- HOUDIJK, H. *et al.* The energy cost for the step-to-step transition in amputee walking. *Gait Posture*, v. 30, n. 1, p. 35-40, 2009
- LIN, S. *et al.* Physiological parameters analysis of transfemoral amputees with different prosthetic knees. *Acta Bioeng Biomech*, v. 21, n. 3, p. 135-142, 2019.
- LIN, S.; BOSE, N.H. Six-minute walk test in persons with transtibial amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 89, n. 12, p. 2354-2359, 2008.
- LIN-CHAN, S.J. *et al.* The effects of added prosthetic mass on physiologic responses and stride frequency during multiple speeds of walking in persons with transtibial amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 84, n. 12, p. 1865-71, 2003.

- MARTINS, D.L.; RABELO, R.J. Influência da atividade física adaptada na Qualidade de Vida de deficientes físicos. *Movimentum*, v. 3, p. 43-8, 2000.
- MICHAUD, S.B.; GARD, S.A.; CHILDRESS, D.S. A preliminar investigation of pelvic obliquity patterns during gait in persons with transtibial and transfemoral amputation. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, v. 37, n. 1, p. 1-10, 2000.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portal da Saúde. *TabNet DataSUS*. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em: 01 março de 2022.
- McGUIRE, L.C.; STRINE, T.W.; OKORO, C.A.; AHLUWALIA, I.B.; FORD, E.S. Healthy lifestyle behaviors among older U.S. adults with and without disabilities, Behavioral Risk Factor Surveillance System, 2003. *Preventing Chronic Disease*, v. 4, n. 1, p. A09, 2007.
- MOHANTY, R.K.; LENKA, P.; EQUERAL, A.; KUMAR, R. Comparison of energy cost in transtibial amputees using “prosthesis” and “crutches without prosthesis” for walking activities. *Annals of Physical Rehabilitation and Medicine*, v. 55, n. 4, p. 252-62, 2012.
- ORENDURFF, M.S.; SEGAL, A.D.; KLUTE, G.K.; McDOWELL, M.L.; PECORARO, J.A.; CZERNIECKI, J.M. Gait efficiency using the C-Leg. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, v. 43, n. 2, p. 239-46, 2006.
- PAYSANT, J.; BEYAERT, C.; DATIÉ, A.M.; MARTINET, N.; ANDRÉ, J.M. Influence of terrain on metabolic and temporal gait characteristics of unilateral transtibial amputees. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, v. 43, n. 2, p. 153-60, 2006.
- PAGE, M.J.; MCKENZIE, J.E.; BOSSUYT, P.M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T.C.; MULROW, C.D.; *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 29, n. 372, p. n71, 2021.
- Pesquisa nacional de saúde: 2019: informações sobre domicílios, acesso e utilização dos serviços de saúde: Brasil, grandes regiões e unidades da federação / IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. - Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- RAICHLE, K.A.; HANLEY, M.A.; MOLTON, I.; KADEL, N.J.; CAMPBELL, K.; PHELPS, E.; *et al.* Prosthesis use in persons with lower- and upper-limb amputation *Journal of Rehabilitation Research & Development*, v. 45, n. 7, p. 961-72, 2008.
- ROBBINS, C.B.; VREEMAN, D.J.; SOTHMANN, M.S.; WILSON, S.L.; OLDRIDGE, N.B. A review of the long-term health outcomes associated with war-related amputation. *Military Medicine*, v. 174, n. 6, p. 588-92, 2009.
- SANTOS, J.R.; VARGAS, M.M.; MELO, C.M. Nível de atividade física, qualidade de vida e rede de relações sociais de amputados. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, v. 22, p. 20-6, 2014.
- SCHMALZ, T.; BLUMENTRITT, S.; JARASCH, R. Energy expenditure and biomechanical characteristics of lower limb amputee gait: the influence of prosthetic alignment and different prosthetic components. *Gait Posture*, v. 16, n. 3, p. 255-63, 2002.
- SCHNALL, B.L. *et al.* Metabolic analysis of male servicemembers with transtibial amputations carrying military loads. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, v. 49, n. 4, p. 535-44, 2012.
- SHAH, S.K. *et al.* Lower extremity amputations: factors associated with mortality or contralateral amputation. *Vascular and Endovascular Surgery*, v. 47, n. 8, p. 608-13, 2013.
- SUCKOW, B.D. *et al.* Domains that Determine Quality of Life in Vascular Amputees. *Annals of Vascular Surgery*, v. 29, n. 4, p. 722-30, 2015.

TRABALLESI, M. *et al.* Energy cost of walking measurements in subjects with lower limb amputations: a comparison study between floor and treadmill test. *Gait Posture*, v. 27, n. 1, p. 70-5, 2008.

TELFORD, C.W.; SAWREY, J.M. *O indivíduo excepcional*. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.

WAN-NAR-WONG, M. Changing dynamics in lower-extremity amputation in China. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 86, n. 9, p. 1778-81, 2005.

WONG, C.K. *et al.* A Comparison of energy expenditure in people with transfemoral amputation using microprocessor and nonmicroprocessor knee prostheses: A Systematic Review. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, v. 24, n. 4, p. 202-8, 2012.

WEZENBERG, D. *et al.* Relation between aerobic capacity and walking ability in older adults with a lower-limb amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 94, n. 9, p. 1714-20, 2013.

Notas sobre os autores

Helton Oliveira Campos

Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Carangola, Departamento de Ciências Biológicas, Carangola, MG, Brasil.

helton.campos@uemg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5720-8054>

Lucas Rios Drummond

Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Divinópolis, Curso de Educação Física, Divinópolis, MG, Brasil.

lucas.drummond@uemg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6042-7757>

Elisabeth Queiroz de Paula

Universidade Federal de Juiz de Fora, Núcleo do Grupo de Pesquisa em Inclusão, Movimento e Ensino a Distância, Juiz de Fora, MG, Brasil.

elisabeth.orientador@ngime.ufjf.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5375-686X>

Recebido em: 15/12/2021

Reformulado em: 15/03/2022

Aceito em: 01/04/2022