

EXOSQUELETOS: O QUE SÃO E QUAIS AS SUAS POTENCIALIDADES?

EXOSKELETONS: WHAT ARE THEY AND WHAT ARE THE CAPABILITIES?

TIPO DE ARTIGO: Artigo de Revisão

AUTORES: Santos M¹, Almeida A², Chagas D³.

RESUMO

Introdução/enquadramento/objetivos

No nosso país são muito escassas as empresas que conhecem o conceito de exosqueleto e menos ainda as que o usam no quotidiano. Por esse motivo, os profissionais da Saúde e Segurança Ocupacionais facilmente não terão grandes conhecimentos sobre o assunto. Pretende-se com esta revisão assimilar o que de mais pertinente se publicou sobre o tema.

Metodologia

Trata-se de uma Revisão Bibliográfica, iniciada através de uma pesquisa realizada em maio de 2024 nas bases de dados “CINALH plus with full text, Medline with full text, Database of Abstracts of Reviews of Effects, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Cochrane Database of Systematic Reviews, Cochrane Methodology Register, Nursing and Allied Health Collection: comprehensive, MedicLatina e RCAAAP”.

Conteúdo

Tratam-se de dispositivos que ajudam na aplicação de força a diversas articulações, reduzindo a carga de trabalho, auxiliando o desempenho das tarefas laborais, podendo até aumentar a probabilidade de este ser executado de forma mais correta e com menor risco de acidente. Ou seja, são acessórios robóticos que se ajustam ao corpo humano externamente, com o objetivo de potenciar a força, resistência e/ou mobilidade, atenuando o esforço e potenciando a resiliência.

São divididos em ativos, passivos e semi-ativos. Os primeiros têm motores elétricos, hidráulicos e/ou pneumáticos e, não só apoiam o movimento humano, como podem acrescentar forças e potenciar o desempenho; ou seja, têm uma fonte de energia. Os passivos apoiam o movimento, armazenando a energia do mesmo, diminuindo a ativação muscular (ainda que também possa surgir o efeito oposto) e são mais usados na indústria; são mais leves e menos complexos. Os semi-ativos estão em situação intermédia.

Discussão e Conclusões

Não restam dúvidas que, se a Inteligência Artificial não substituir massivamente os humanos dos postos de trabalho, estes serão auxiliados e potenciados pelo uso de exosqueletos, progressivamente aperfeiçoados e adaptados às necessidades. Seria muito interessante que

¹ Mónica Santos

Licenciada em Medicina; Especialista em Medicina Geral e Familiar; Mestre em Ciências do Desporto; Especialista em Medicina do Trabalho; Diretora da Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional online; Técnica Superior de Segurança no Trabalho; Doutorada em Segurança e Saúde Ocupacionais e CEO da empresa Ajeogene Serviços Médicos Lda (que coordena os projetos Ajeogene Clínica Médica e Serviços Formativos e 100 Riscos no Trabalho). Endereços para correspondência: Rua da Varziela, 527, 4435-464 Rio Tinto. E-mail: s_monica_santos@hotmail.com. ORCID N.º 0000-0003-2516-7758

Contributo para o artigo: seleção do tema, pesquisa, seleção de artigos, redação e validação final.

² Armando Almeida

Escola de Enfermagem (Porto), Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Católica Portuguesa; Centro de Investigação Interdisciplinar em Saúde; Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional. 4420-009 Gondomar. E-mail: aalmeida@ucp.pt. ORCID N.º 0000-0002-5329-0625

Contributo para o artigo: seleção de artigos, redação e validação final.

³ Dina Chagas

Doutorada em Higiene, Saúde e Segurança no Trabalho; Pós-Graduada em Segurança e Higiene do Trabalho; Pós-Graduada em Sistemas Integrados de Gestão, Qualidade, Ambiente e Segurança. Professora convidada no ISEC Lisboa. Membro do Conselho Científico de várias revistas e tem sido convidada para fazer parte da comissão científica de congressos nos diversos domínios da saúde ocupacional e segurança do trabalho. Colabora também como revisor em várias revistas científicas. Galardoada com o 1.º prémio no concurso 2023 “Está-se Bem em SST: Participa – Inova – Entrega-Te” do projeto *Safety and Health at Work Vocational Education and Training (OSHVET)* da EU-OSHA.1750-142 Lisboa. E-Mail: dina.chagas2003@gmail.com. ORCID N.º 0000-0003-3135-7689.

Contributo para o artigo: seleção de artigos, redação e validação final.



as escassas instituições onde estes já existam, estudassem variáveis como alterações nos sintomas e patologias diagnosticadas, satisfação laboral, qualidade de vida, produtividade e custo-benefício, bem como eventuais riscos associados.

Palavras-chave: exosqueleto, saúde ocupacional, medicina do trabalho, enfermagem do trabalho e segurança no trabalho.

ABSTRACT

Introduction/framework/objectives

In our country, there are very few companies that are familiar with the concept of exoskeletons and even fewer that use them on a daily basis. For this reason, Occupational Health and Safety professionals will easily not have much knowledge on the subject. The aim of this review is to assimilate the most relevant information that has been published on the subject.

Methodology

This is a Literature Review, initiated through a search carried out in May 2024 in the databases "CINALH plus with full text, Medline with full text, Database of Abstracts of Reviews of Effects, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Cochrane Database of Systematic Reviews, Cochrane Methodology Register, Nursing and Allied Health Collection: comprehensive, MedicLatina and RCAAP".

Contents

These are devices that help apply force to various joints, reducing the workload, aiding the performance of work tasks and may even increase the likelihood of it being performed more correctly and with a lower risk of accident. In other words, they are robotic accessories that adjust externally to the human body, with the aim of enhancing strength, resistance, resilience and/or mobility and reducing the effort.

They are divided into active, passive and semi-active. The former have electric, hydraulic and/or pneumatic motors and not only support human movement, but can also add strength and enhance performance; in other words, they have an energy source. Passive devices support movement, storing its energy, reducing muscle activation (although the opposite effect may also occur) and are more commonly used in industry; they are lighter and less complex. Semi-active devices are in an intermediate situation.

Discussion and Conclusions

There is no doubt that, if Artificial Intelligence does not massively replace humans in the workplace, they will be assisted and enhanced by the use of exoskeletons, progressively improved and adapted to needs. It would be very interesting if the few institutions where these already exist studied variables such as changes in symptoms and diagnosed pathologies, job satisfaction, quality of life, productivity and cost-benefit, as well as possible associated risks.

KEYWORDS: exoskeleton, occupational health, occupational medicine, occupational nursing and occupational safety.

INTRODUÇÃO

No nosso país são muito escassas as empresas que conhecem o conceito de exosqueleto (EX) e menos ainda as que o usam no quotidiano. Por esse motivo, os profissionais da Saúde e Segurança Ocupacionais facilmente não terão grandes conhecimentos sobre o assunto. Pretende-se com esta revisão assimilar o que de mais pertinente se publicou sobre o tema.

METODOLOGIA

Em função da metodologia **PICo**, foram considerados:

- P** (*population*): trabalhadores que usam ou possam usar EXs
- I** (*interest*): reunir conhecimentos relevantes sobre o uso destes dispositivos
- C** (*context*): saúde e segurança ocupacionais aplicadas ao uso de EXs.

Assim, a pergunta protocolar será: Quais as principais alterações a nível de sintomas e lesões/patologias, bem como satisfação laboral, produtividade, qualidade de vida e relação custo-benefício associado aos EXs?

Foi realizada uma pesquisa em maio de 2024 nas bases de dados “*CINALH plus with full text, Medline with full text, Database of Abstracts of Reviews of Effects, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Cochrane Database of Systematic Reviews, Cochrane Methodology Register, Nursing and Allied Health Collection: comprehensive, MedicLatina e RCAAP*”.

No quadro 1 podem ser consultadas as palavras-chave utilizadas nas bases de dados.

CONTEÚDO

Definição

EXs são dispositivos que ajudam na aplicação de força a diversas articulações, reduzindo a carga de trabalho (1), auxiliando o desempenho das tarefas laborais e não alterando significativamente a cinemática do movimento, podendo até aumentar a probabilidade de este ser executado de forma mais correta e com menor risco de acidente (2). Ou seja, são acessórios robóticos (2) (3) (4) que se ajustam ao corpo humano externamente, com o objetivo de potenciar a força, resistência e/ou mobilidade (2), atenuando o esforço e potenciando a resiliência (3). Possibilitam ou assistem a um movimento, postura ou atividade física (5), colaborando e atuando mecanicamente no corpo (6), dando apoio estrutural (7), atenuando a sobrecarga articular e a existência de LMEs (4).

A *American Association for Testing and Materials*, por exemplo, define EX como sendo um dispositivo que potencia, possibilita, colabora no desempenho físico, através da interação mecânica com o corpo, sobretudo em situações como caminhar, fletir e levantar cargas (8).

Dados históricos

O primeiro EX robótico para humanos foi criado em 1965 por Hardiman, na *General Electric*; o objetivo era potenciar a força, de forma a se conseguir levantar uma carga muito elevada; contudo, o resultado final ficou aquém do desejado (o equipamento fazia movimentos muito bruscos e não se demonstrou suficientemente seguro) (9).

Classificação

Eles são estruturados em ativos, passivos (8) (10) (11) (12) (13) e semi-ativos. Os primeiros têm motores elétricos, hidráulicos e/ou pneumáticos e, não só apoiam o movimento humano, como podem acrescentar força e potenciar o desempenho (8) (12) (14); ou seja, têm uma fonte de energia (13). Os passivos apoiam o movimento (8) (14), armazenando a energia do mesmo (5), diminuindo a ativação muscular (ainda que também possa surgir o efeito oposto) (4) e são mais usados na indústria (12); são mais leves e menos complexos (13). Os semi-ativos estão em situação intermédia (8).

Noutra classificação a ênfase é a parte anatómica do corpo que dão apoio, ou seja, zona inferior, superior ou todo o corpo (5) (8). Por exemplo, existem EXs para os membros

superiores, para tarefas realizadas em abdução (13). Para além disso, existem dispositivos que atuam numa só articulação em específico (8).

Alguns modelos podem também ser elásticos e biónicos (9). Os novos modelos já usados na indústria são mais leves, flexíveis e confortáveis. Deverão ser antropometricamente adaptáveis às medidas de cada funcionário (15).

Exemplos de setores com aplicabilidade

A caminhada prolongada em alguns postos de trabalho pode potenciar as lesões associadas ao trabalho nos membros inferiores, fadiga/exaustão muscular e eventual queda (alguns setores mais relevantes serão por isso a agricultura, construção e saúde) (16). Presentemente eles já existem em setores como a construção, indústria automotora, logística e metalurgia (8). Alguns estudos divulgam dados associados ao setor de enfermagem (3) ou da saúde em geral (12). Contudo, a introdução destes dispositivos no setor da construção civil está numa fase muito inicial (17).

Podem ainda ser classificados em função das utilizações possíveis; ou seja: fisioterapia/reabilitação (5) (8) (9) (18) [para idosos, indivíduos com deficiência física, AVCs e/ou atenuar movimentos indesejados associados a patologias neuromotoras (9)], potenciação do desempenho militar (mobilidade) (4) (8), atenuação (8)/prevenção (9) das LMEs em contexto laboral (5) (8) (a nível de cargas e posturas forçadas/mantidas) (8) e/ou contribuir para a investigação biomecânica (9).

Investigação

São necessárias investigações que conjuguem a adequabilidade, custo, impacto e riscos (8).

A interação destes dispositivos com a ergonomia do local de trabalho está ainda pouco estudada (nomeadamente aos níveis biomecânico, fisiológico e térmico) (8). Ou seja, na realidade não existem muitas investigações sobre o tema (3), nem as que existem são robustas (5) (8), ainda que o interesse pelos EXs tenha vindo a aumentar (18). Alguns investigadores consideram que não está totalmente claro se eles conseguem atenuar a fadiga muscular e/ou a instabilidade pessoal (7). Os estudos a longo prazo também serão pertinentes (13).

Para perceber se determinado modelo será útil num contexto específico, é necessário um estudo prévio detalhado (9). É provável que no futuro se faça mais uso dos EXs (19).

Para desenvolver modelos, são necessários conhecimentos de biomecânica (16). A Eletromiografia (EMG) é adequada para fazer investigação (13), porque ajuda a perceber a utilização muscular (20). Eles podem ainda ser muito aperfeiçoados (13).

Variáveis que modulam o resultado

O ambiente de trabalho tem de estar preparado para a introdução dos EXs (9). O sucesso da sua implementação implica aceitação da parte do trabalhador (8) (21) (22) que, por sua vez, está dependente do conforto/desconforto associado, sobretudo se usado por períodos longos (8); bem como da perceção de facilidade de uso, utilidade e autoeficácia (21). A eficiência

também varia com as tarefas serem mais estáticas e/ou dinâmicas, tempo de duração, direção do movimento/exposição do trabalhador (9). Por vezes, a eficácia pode estar dependente da altura usual de execução do trabalho (distância ao chão) (23); ou seja, da antropometria, objetivos, posturas corporais e partes do corpo envolvidas (4).

Vantagens

Estão descritas na bibliografia as seguintes vantagens:

- diminuir/atenuar o gasto metabólico cardiorespiratório (5) (8) (24) (25); ou seja, potenciar a eficiência energética (8) (15), força, resistência e diminuir a ativação muscular, originando mais eficiência e produtividade (2) (43) (16) (18), sobretudo os modelos mais leves (10)– aliás o empregador poderá ficar mais aliciado com o aumento da produtividade (5) versus diminuição das LMEs (4) (10) (11) (13) (14) (17) (18) (19) (21)
- melhorar a fadiga/tensão/esforço muscular (2) (5) (9) (10) (12) (16) (18) (19) (21) (23) (25), postura (10) (23) e os sintomas associados (23) (25)
- auxiliar no ato de sentar, levantar, caminhar, balançar e ajoelhar (2) (15)
- atenuar os custos médicos, certificados de incapacidade temporária e processos legais, potenciando o estado de alerta, produtividade e qualidade de vida laboral, bem como diminuição do *turnover* (2)
- conjugar a inteligência e adaptação dos humanos à força e tecnologia dos *robots* (9).
- ser recurso para situações onde não é possível automatizar mais (13) e/ou quando as medidas ergonómicas não podem ser exploradas com facilidade (20) e
- diminuição da compressão dos discos intervertebrais no momento de suporte da carga (20).

Desvantagens

As principais desvantagens assinaladas na bibliografia foram:

- lesão ou acidente (queda, colisão) (2) (8), uma vez que podem alterar o centro de gravidade e perturbar o equilíbrio (8)
- aumento do gasto metabólico (8), porque a estrutura tem algum peso (2) (8) e pode alterar o desempenho (8)
- potenciação do desconforto térmico (8)
- aumento da atividade/atrofia muscular (2)
- custo (2)
- duração da bateria e a carga extra (2)
- discriminação entre colegas do sexo masculino, sobretudo, porque usar EX poderá ser visto como uma fraqueza perante os colegas; o facto do seu uso ser obrigatório e definido em contrato poderia atenuar esta questão; o *design* também pode modular esta questão (21) e
- o alívio nuns músculos poderá potenciar a ativação de outros (12), levando eventualmente a danos anatómicos (6).

DISCUSSÃO/ CONCLUSÃO

Não restam dúvidas que, se a Inteligência Artificial não substituir massivamente os humanos dos postos de trabalho, estes serão auxiliados e potenciados pelo uso de exosqueletos, progressivamente aperfeiçoados e adaptados às necessidades. Seria muito interessante que as escassas instituições onde estes já existam, estudassem variáveis como alterações nos sintomas e patologias diagnosticadas, satisfação laboral, qualidade de vida, produtividade e custo-benefício, bem como eventuais riscos associados.

CONFLITOS DE INTERESSE, QUESTÕES ÉTICAS E/OU LEGAIS

Nada a declarar.

AGRADECIMENTOS

Nada a declarar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **E2.** Farah L, Roll D, Sorais A, Vallée A. Assessment of Exoskeletons on nurses quality of worklife: a pilot study at Foch Hospital. *Nursing Reports*. 2023; 13: 780-791. DOI: 10.3390/nurserep13020068
2. **E3.** Hondzinski J, Ikuma L, Queiroz M, Wang C. Effects of exoskeleton use on movement kinematics performance of commonwork tasks: a case study. *Work* 61. 2018; 575-588. DOI: 10.3233/wor-162827.
3. **E6.** Saurio R, Pekkarinen S, Melkas H. User experiences on the implementation of exoskeletons in carework. *Healthcare Transformation with Informatics and Artificial Intelligence*. 2023, 533-538. DOI: 10.3233/SHTI230551
4. **E24.** Golabchi A, Chao A, Tavakoli M. A systematic review of industrial exoskeletons for injury prevention: efficacy evaluation metrics, target tasks and supported body postures. *Sensors*. 2022; 22: 2714. Doi: 10.3390/ds22072714
5. **E17.** Fournier D, Yung M, Samasundram K, Du B. Rezvani S, Yazdabi A, Quality, productivity and economic implication of Exoskeletons for occupational use: a systematic review.
6. **E22.** Bar M, Luger T, Seibt R, Gabriel J, Rieger M, Steinhilber B. Effects of a passive back-support exoskeleton on knee joint loading during simulated static sorting and dynamic lifting tasks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19: 9965.
7. **E23.** Park J, Lee Y, Madinei S, Kim S, Nussbaum M, Srinivasan D. Effects of back-support Exoskeleton use on lower limb joint kinematics and kinetics during level walking. *Annals of Biomedical Engineering*. 2022; 50(8): 964-977. DOI: 10.1007/s10439-022-02973-6
8. **E1.** Ferraro S, Falcone T, Ranavolo A, Molinnaro V. The effects of upper-body exoskeleton on human metabolic cost and thermal response during work tasks- a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17: 7374. DOI: 10.3390/ijerph1707374

9. **E8.** Junior J, Aquino H. Análise da confiabilidade e eficiência de exosqueletos em linha de produção de manufatura. *Fisioterapia Brasileira*. 2020; 21(1), suplemento 2: 24-32. DOI: 10.33233/fb.v21i1.3939
10. **E5.** Wang Q, Shi P, He C, Yu H. Design and evaluation of a parallel mechanism for wearable lumbar support exoskeleton. *Work*. 2023; 76: 637-651. DOI: 10.3233/WOR-211381
11. **E14.** Schiebl J, Troster M, Idouti W, Gneiting E, Spies L, Maufro C et al. Model-based biomechanical exoskeleton concept optimization for a representative lifting task in logistics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19: 15533. DOI: 10.3390/ijerph192315533
12. **E20.** Arnoux B, Farr A, Boccara V, Vignais N. Evaluation of a passive upper limb exoskeleton in healthcare workers during a surgical instrument leaning task. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023; 20: 3153. DOI: 10.3390/ijerph20043153
13. **E25.** Iranzo S, Piedrabuena A, García-Torres F, Martínez-de-Juan J, Prats-boluda G, Sanchis M et al. Assessment of a passive lumbar exoskeleton in material manual handling tasks under laboratory conditions. *Sensors*. 2022; 22: 4060. DOI: 10.3390/s22114060
14. **E16.** Troster M, Wagner D, Müller-Graf F, Maufrey C, Schneider U, Bauerhansl T. Biomechanical Model-based Development of an active occupational upper-limb exoskeleton to support healthcare workers in the surgery waiting room. *International Journal of Environmental Health*. 2020; 17: 5140. DOI: 10.3390/ijerph17145140
15. **E13.** Schmalz T, Schandlinger J, Schiler M, Bornmann J, Schirrmeister B, Kannenberg A et al. Biomechanical and Metabolic Effectiveness of an Industrial Exoskeleton for Overhead Work. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019; 16: 4792. DOI: 10.3390/ijerph16234792
16. **E12.** Sado F, Yap H, Ghazilla R, Ahmad N. Exoskeleton control for synchronous walking assistance in repetitive manual handling works based on dual unscented kalman filter. *PLOS ONE*. 2018; 13(7): e200193. DOI: 10.1371/journal.pone.0200193
17. **E21.** Mahmud D, Bennett S, Zhu Z, Adamczyk P, Wehner M, Veerqmani D et al. Identifying Facilitators, barriers and potential solutions of adopting exoskeletons and exosuits in construction workplaces. *Sensors*. 2022; 22: 9987. DOI: 10.3390/s22249987
18. **E27.** Pesenti M, Antonietti A, Gandolla M, Pedrocchio A. Towards a functional performance validation standard for industrial low-back exoskeleton: state of the art review. *Sensors*. 2021; 21: 808. Doi: 10.3390/s21030808
19. **E11.** Taborri J, Pasinetti S, Cardinali L, Perroni F, Rossi S. Preventing and monitoring work-related diseases in firefighters: a literature review on sensor-based systems and future perspectives in robotic devices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 19: 9723. DOI: 10.3390/ijerph18189723

20. **E26.** DiNatali C, Chini G, Toxiri S, Monica L, Anastasi S, Drarcchio F et al. Equivalent weight: connecting exoskeleton effectiveness with ergonomic risk during manual material handling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18: 2677. DOI: 10.3390/ijerph18052677
21. **E7.** Baltrusch S, Houdijk H, Direen J, Kruf J. Passive trunk Exoskeleton acceptability and effects on self-efficacy in employees with low-back pain: a mixed method approach. *Journal of Occupational Rehabilitation*. 2021; 31: 129-141. DOI: 10.1007/s10926-020-09891-1
22. **E10.** Cocceia A, Capodaglio E, Amitrano F, Gabba V, Panigazzi M, Pagano G et al. Biomechanical Effects of using a passive exoskeleton for the upper limbs in industrial manufacturing activities: a pilot study. *Sensors*. 2024; 24: 1445. DOI: 10.3390/s24051445
23. **E15.** Kong Y, Park C, Cho M, Kim S, Kim M, Hyun D et al. Guidelines for working heights of the lower-limb exoskeleton (CEX) based on ergonomic evaluations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18: 5199. DOI: 3390/ijerph18105199
24. **E4.** Collins S, Wiggin M, Sawiaki G. Reducing the energy cost of human walking using an unpowered exoskeleton. *Nature*. 2015; 5222: 11. DOI: 10.1038/nature14288
25. **E18.** Baltrusch S, Dieen J, Koopman A, Naf M, Rodriguez-Gurrero C, Babic J et al. SPEXOR passive spinal exoskeleton decreases metabolic cost during symmetric repetitive lifting. *European Journal of Applied Physiology*. 2020; 120: 401-412. DOI: 10.1007/s00421-019-04284-6

Quadro 1: Pesquisa efetuada

Motor de busca	Password 1	Password 2 e seguintes, caso existam	Crítérios	Nº de documentos obtidos	Nº da pesquisa	Pesquisa efetuada ou não	Nº do documento na pesquisa	Codificação inicial	Codificação final
RCAAP	Exosqueleto		-título e/ ou assunto	38	1	sim	-	-	-
EBSCO (CINALH, Medline, Database of Abstracts and Reviews, Central Register of Controlled Trials, Cochrane Database of Systematic Reviews, Nursing & Allied Health Collection e MedicLatina)	Exoskeleton		-2013 a 2023 -acesso a resumo -acesso a texto completo	776	2	Não	-	-	-
		+work		125	3	Sim	1	E1	8
							2	E2	1
							4	E3	2
							5	E4	24
							6	E5	10
							7	E6	3
							8	E7	21
							12	E8	9
							13	E9	-
							15	E10	22
							17	E11	19
							18	E12	16
							19	E13	15
							21	E14	11
							27	E15	23
							30	E16	14
							33	E17	5
							34	E18	25
							38	E19	-
							39	E20	12
							41	E21	17
							48	E22	6
							49	E23	7
							51	E24	4
							52	E25	13
							60	E26	20
							63	E27	18

Data de receção: 2024/11/05

Data de aceitação: 2025/05/24