

AUXIVO

White Paper

Como os Exoesqueletos Fornecem Apoio

auxivo.com



Introdução

Bem-vindo ao white paper da Auxivo sobre o suporte do exoesqueleto. Este white paper explica os princípios mecânicos e biomecânicos fundamentais de como os exoesqueletos vestíveis funcionam e como apoiam os seus utilizadores.

Os exoesqueletos são dispositivos usados pelos utilizadores humanos para os apoiar fisicamente. Atualmente, são utilizados na medicina, por exemplo, para apoiar pessoas com dificuldades de mobilidade, e no mundo do trabalho, onde apoiam os trabalhadores reduzindo a carga de trabalho para evitar a exaustão e as lesões causadas por sobrecarga.

O nosso objetivo com este white paper é fornecer aos leitores as informações necessárias para compreenderem como funciona a interação entre os seres humanos e os exoesqueletos e como estes podem reduzir a carga física sobre o corpo humano. Abrange conceitos comuns de suporte de exoesqueleto a um nível conceitual para proporcionar uma boa visão geral. Só são acrescentados pormenores técnicos e científicos quando necessário para a compreensão.

Como potencial utilizador de um exoesqueleto, queremos fornecer-lhe as informações de que necessita para compreender as possibilidades e limitações dos exoesqueletos e para tomar uma decisão informada e objetiva sobre se os exoesqueletos são a escolha certa para si.

Esperamos que goste de o ler! Se tiver mais perguntas, contacte-nos.

A equipa Auxivo

O documento está dividido em três secções

A Secção I

apresenta os principais princípios mecânicos e biomecânicos necessários para compreender o funcionamento dos exoesqueletos.

A Secção II

aborda os mecanismos e conceitos de como os exoesqueletos vestíveis apoiam os seus utilizadores.

A Secção III

aborda algumas das ideias erradas mais comuns sobre a função dos exoesqueletos, com base nas informações e conceitos apresentados nas Secções I e II.

Secção 1

Princípios (Bio)mecânicos Importantes

Antes de discutirmos a forma como os exoesqueletos fornecem apoio, precisamos de introduzir alguns princípios mecânicos e biomecânicos importantes. Isto ajudar-nos-á a compreender como o trabalho físico exerce sobrecarga sobre o corpo humano e como um sistema mecânico pode ajudar a reduzir essa sobrecarga. Quando compreendermos estes princípios básicos, será fácil compreender os mecanismos de alívio dos exoesqueletos, uma vez que se baseiam nestes princípios.

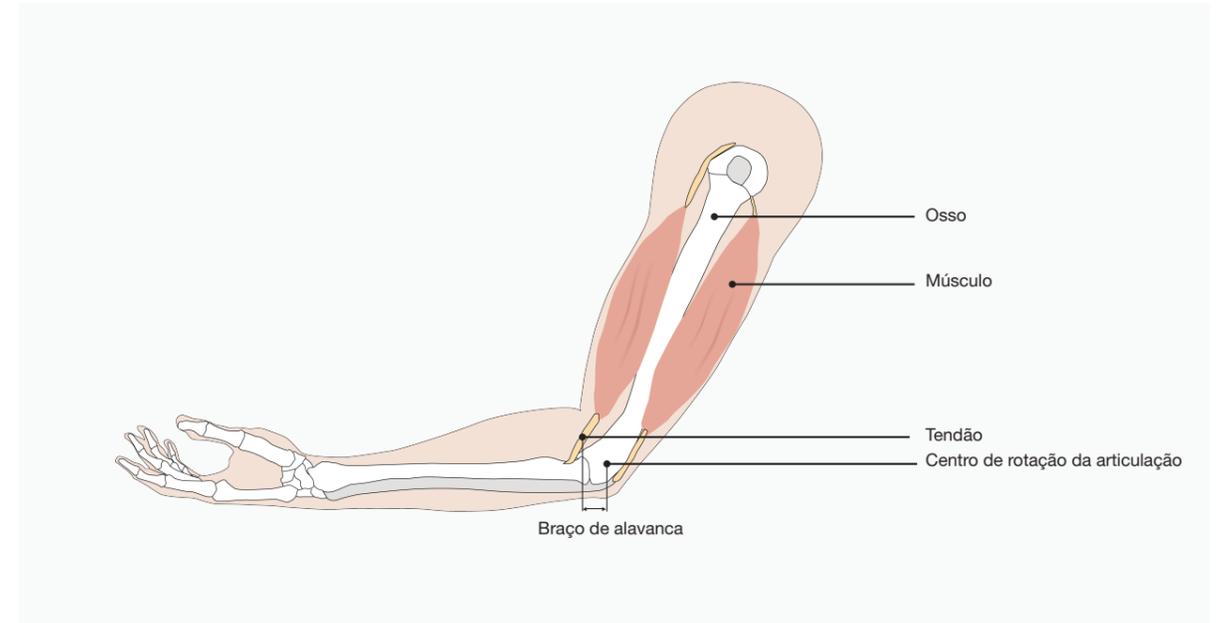
O sistema músculo-esquelético humano

Vamos começar por resumir brevemente a forma como o corpo humano pode mover, segurar e levantar objetos, analisando o sistema músculo-esquelético humano.

Os ossos do nosso (endo)esqueleto estão ligados por articulações que permitem o movimento. Os músculos ligam os vários ossos através de uma ou mais articulações por meio de tendões. Quando os músculos se contraem, exercem uma força de tração sobre os ossos. Existe uma certa distância entre a inserção do músculo e o ponto de rotação da articulação, a que chamamos braço de alavanca. Devido a este braço de alavanca, a força muscular conduz a uma força de rotação (também conhecida como binário) ao nível da articulação, o que faz com que os ossos se desloquem num movimento de rotação em torno da articulação.

Quando uma carga externa (ou o peso do próprio corpo humano) exerce um binário numa articulação humana, os músculos associados têm de se contrair para criar um contra-torque em torno dessa articulação. É assim que os seres humanos podem segurar ou mover uma carga externa através da força muscular. Os músculos humanos só podem gerar uma força de tração. Não podem empurrar contra um osso. Para criar movimento em duas direções, são necessários (pelo menos) dois músculos por articulação que possam contrabalançar a força um do outro. Chamamos agonista e antagonista a um conjunto de músculos opostos.

Se ativar os músculos agonistas e antagonistas de uma articulação ao mesmo tempo, a articulação fica muito rígida. Isto impede-a de se mover e cria estabilidade. Isto também é conhecido como co-contração. A co-contração também pode ser utilizada para estabilizar uma cadeia de articulações, como a coluna vertebral. Na vida quotidiana, por exemplo, os músculos das costas e do abdómen trabalham em conjunto para alcançar e manter uma postura erecta.



Secção 1
Princípios (Bio)mecânicos Importantes

Braços de alavanca - Porque é que a mesmo peso exerce cargas diferentes no corpo

A força que os músculos humanos têm de exercer para deslocar uma carga externa depende de vários factores. Um aspeto é a massa absoluta da carga externa. É claro que faz diferença se estamos a segurar 5 kg ou 20 kg. Mas há outro aspeto que deve ser compreendido.

A forma como segura e manuseia a carga pode ter um efeito muito maior na tensão que exerce sobre o seu corpo do que a própria massa da carga. Imagine (ou tente) segurar um saco de 10 kg. Se transportar o saco ao lado do corpo, pode segurá-lo durante muito tempo sem grande esforço. Mas assim que o levantar à frente do seu corpo, sentirá imediatamente a carga no seu ombro aumentar e rapidamente terá dificuldade em segurá-lo nessa posição.

A razão para este efeito é que, muitas vezes, não é a força que é o aspeto crítico que exerce a carga principal sobre o corpo, mas sim o binário que esta força exerce sobre as articulações. Este binário é a força multiplicada pela distância horizontal entre a força e o ponto de rotação da articulação (braço de alavanca): $T = F \cdot L$, em que T é o binário, F é a força e L é o braço de alavanca.

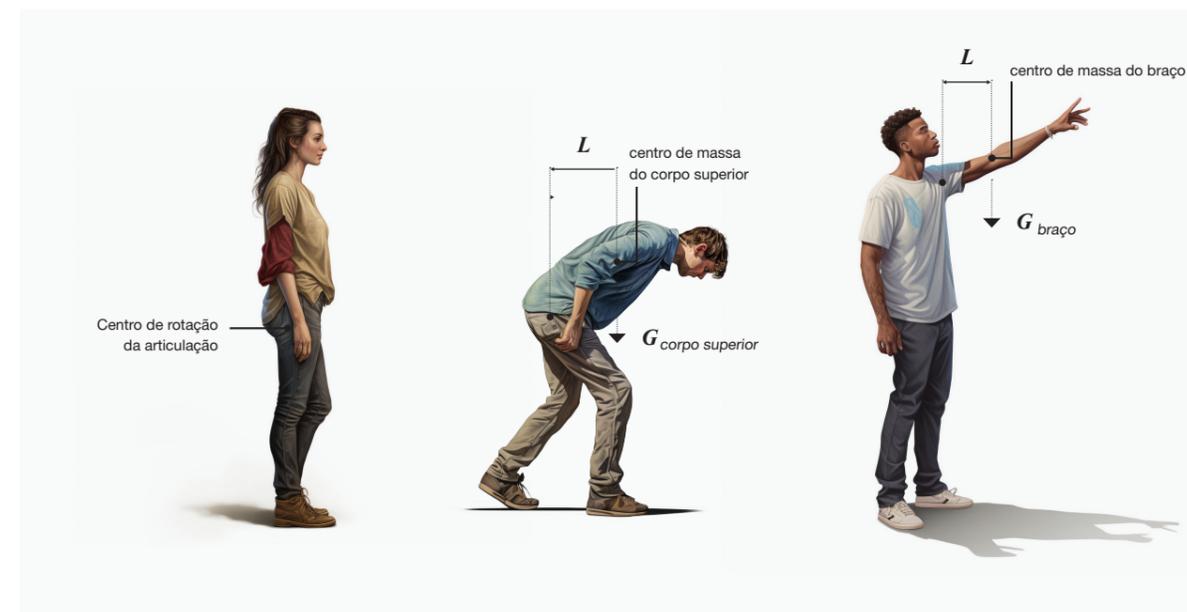
Consequentemente, o aumento do braço de alavanca na direção horizontal, segurando uma carga à frente ou inclinando o corpo para a frente, pode aumentar rapidamente o binário articular de forma considerável, o que pode levar a uma sobrecarga nas articulações afectadas.



O efeito do braço de alavanca (ou seja, a distância horizontal entre a articulação humana e a força externa) é ilustrado.

- ◀ À esquerda: A pessoa transporta um saco ao lado do corpo. O saco está alinhado aproximadamente na horizontal com a articulação do ombro. Por conseguinte, o peso do saco provoca apenas um pequeno binário na articulação do ombro, que os músculos do ombro têm de contrariar.
- ▶ Direita: A pessoa segura um saco à frente do corpo. Isto resulta numa distância horizontal considerável (braço de alavanca) entre o centro de massa do saco e o eixo de rotação da articulação do ombro, o que leva a um binário mais elevado que os músculos do ombro têm de contrariar.

Secção 1
Princípios (Bio)mecânicos Importantes



A influência da massa corporal e da postura no campo gravitacional na carga articular.

- ◀ À esquerda: Quando o corpo está numa posição vertical e os braços pendem verticalmente ao lado do corpo, a carga sobre os ombros, as costas e as ancas é relativamente baixa. ▲ Centro: Se a parte superior do corpo se inclinar mais para a frente, a tensão nas costas e nas ancas aumenta.
- ▶ Direita: Quando o braço está esticado para a frente, o centro de massa do braço está a uma distância horizontal da articulação do ombro, o que leva a um grande braço de alavanca e a um binário no ombro.

Gravidade e massa do corpo humano

Em relação direta com a secção anterior, devemos sublinhar o papel dominante que a gravidade e a massa do corpo humano desempenham quando falamos de carga de trabalho ou de esforço físico. Embora outros aspectos também desempenhem um papel importante, como a força dinâmica causada pela aceleração e pelo movimento, a gravidade é o nosso maior inimigo quando se trata de esforço físico. Puxa constantemente tudo para baixo, incluindo todas as cargas que transportamos e todas as partes do nosso corpo. Os nossos músculos têm de trabalhar constantemente para contrariar esta força descendente da gravidade.

Muitas vezes, a carga causada pela sua própria massa corporal é o principal fator da carga de trabalho total. Para ilustrar este facto, podemos olhar novamente para o nosso exemplo de inclinação para a frente acima. Cerca de 60% do peso do corpo humano está tipicamente na cabeça, nos braços e no tronco. Os músculos das costas e da anca de uma pessoa de 80 kg que simplesmente se inclina para a frente já têm, portanto, de estabilizar uma carga de cerca de 50 kg. Isto significa que a tensão exercida sobre o corpo pelo seu próprio peso é muitas vezes superior à tensão adicional de levantar um objeto de 10 kg ou 15 kg. Por este motivo, a utilização de um exoesqueleto para compensar o peso do corpo pode reduzir significativamente a carga.

É importante notar que o princípio do braço de alavanca descrito acima também se aplica à massa e ao centro de gravidade dos segmentos do nosso corpo. A carga colocada em cada uma das nossas articulações e músculos depende, portanto, em grande medida, da nossa postura. Quando nos mantemos de pé, a tensão sobre os nossos músculos é relativamente baixa. No entanto, assim que dobramos o tronco para a frente ou levantamos os braços, a carga sobre as articulações aumenta consideravelmente e os músculos das costas ou dos ombros têm de trabalhar arduamente, como se mostra abaixo.

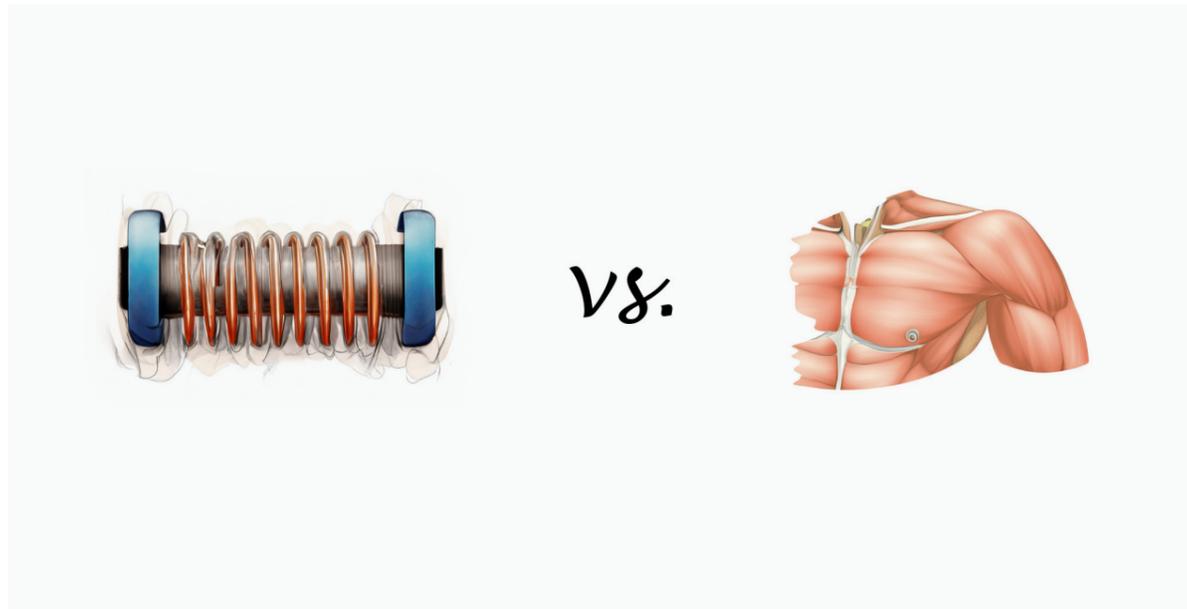
Diferenças importantes entre a mecânica técnica e a biomecânica

O corpo humano não é uma máquina. Isto pode parecer bastante óbvio, mas é importante compreender o que isto significa a nível mecânico e biomecânico. Embora muitos princípios da mecânica de engenharia (que lida com forças e movimentos em máquinas) e da biomecânica (que lida com forças e movimentos no corpo humano) sejam semelhantes, também existem diferenças. Quando falamos de exoesqueletos, uma diferença importante é a forma como os músculos humanos e as molas mecânicas geram força.

Do ponto de vista energético, um músculo sob tensão é muito diferente de uma mola mecânica sob tensão. Esticar uma mola mecânica requer energia. Esta energia é libertada quando a mola é aliviada. Enquanto está a ser esticada, a mola mecânica gera permanentemente uma força sem necessitar de energia adicional. Esta força pode ser utilizada para suportar uma carga contra a força da gravidade.

Os músculos humanos, por outro lado, geram força através da contração com a ajuda de proteínas que convertem energia química em energia mecânica. As proteínas do músculo podem deslizar umas contra as outras, tornando as fibras musculares mais curtas, o que leva a uma força de tração. Enquanto o músculo está ativo, necessita constantemente de energia, que é fornecida pelos processos metabólicos celulares. Isto pode levar ao esgotamento das reservas de energia, à fadiga neuromuscular e a outros efeitos metabólicos e neuromusculares que requerem energia e limitam a capacidade de contração do músculo.

Em resumo, uma vez esticada, uma mola mecânica pode gerar uma força permanente sem energia adicional. Em contrapartida, um músculo humano necessita de um fornecimento constante de energia para se manter contraído, o que conduz à fadiga e à exaustão.



É importante compreender que as molas mecânicas e os músculos humanos geram força de forma diferente. Uma mola mecânica pré-carregada não necessita de energia para gerar uma força constante e pode suportar uma carga indefinidamente. Em contraste, os músculos humanos requerem um fornecimento constante de energia e cansam-se rapidamente.

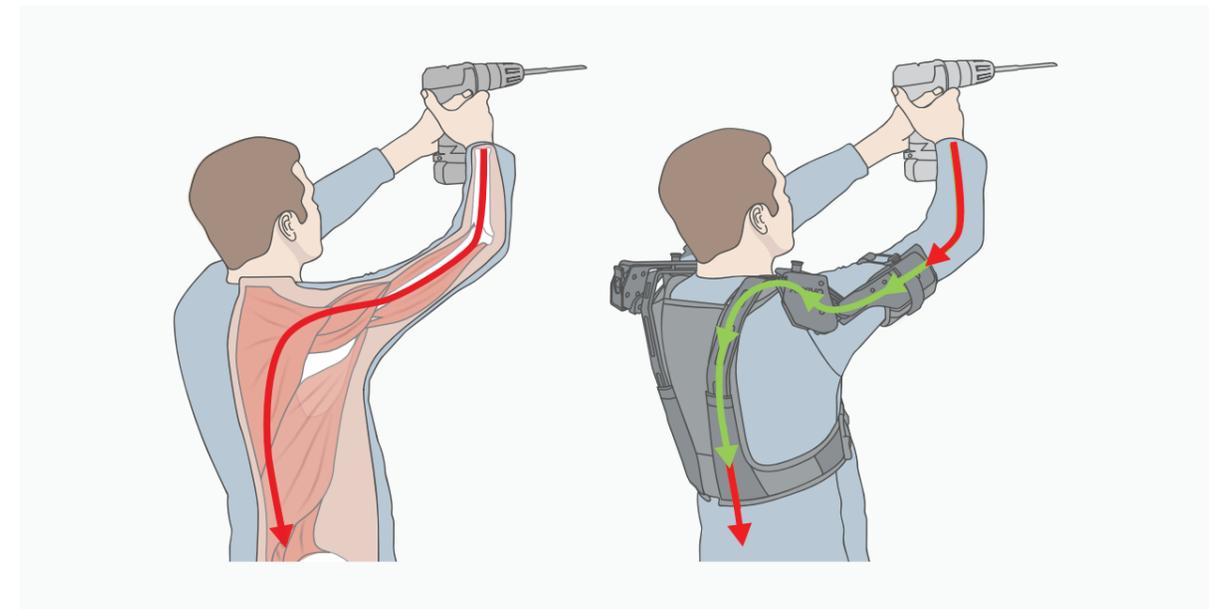
Secção 2 Como os Exoesqueletos Fornecem Suporte

Agora que já abordámos os principais princípios (bio) mecânicos, vejamos como os exoesqueletos podem apoiar os seus utilizadores. A maioria dos exoesqueletos combina vários dos seguintes princípios, mas, para uma melhor compreensão, vamos analisar cada um deles separadamente.

O caminho de carga alternativo

Trata-se de uma abordagem relativamente simples mas eficaz. Muitos exoesqueletos transferem mecanicamente a carga em torno de uma ou mais articulações humanas. Para as partes do corpo cobertas pelo exoesqueleto, a carga (ou parte dela) é transferida do corpo para o exoesqueleto. A carga é então passada através do exoesqueleto e contorna o sistema músculo-esquelético do utilizador. No ponto de fixação inferior do exoesqueleto, a carga é transferida de volta para o corpo, onde é transferida para o solo, semelhante ao percurso da carga sem o exoesqueleto.

Por exemplo, se segurar um peso de 5 kg na mão, esta carga passa pelo pulso, pelo cotovelo e pelo ombro, desce pela coluna vertebral, passa pelas ancas, pelas pernas, pelos joelhos e pelos tornozelos e, finalmente, pelo chão. Ao longo do percurso, exerce pressão sobre todas estas partes do corpo. Quando se usa um exoesqueleto de ombro como o Auxivo DeltaSuit, uma parte significativa da carga é transferida diretamente do braço para o tronco, contornando a relativamente vulnerável articulação do ombro.



O princípio do trajeto da carga é ilustrado utilizando o Auxivo DeltaSuit

A seta vermelha mostra o trajeto da carga através do corpo e a seta verde mostra o trajeto através do exoesqueleto. A transferência da carga para o exoesqueleto pode reduzir a tensão nos músculos, tendões e articulações ao longo da secção contornada.

Secção 2 Como os Exoesqueletos Fornecem Suporte

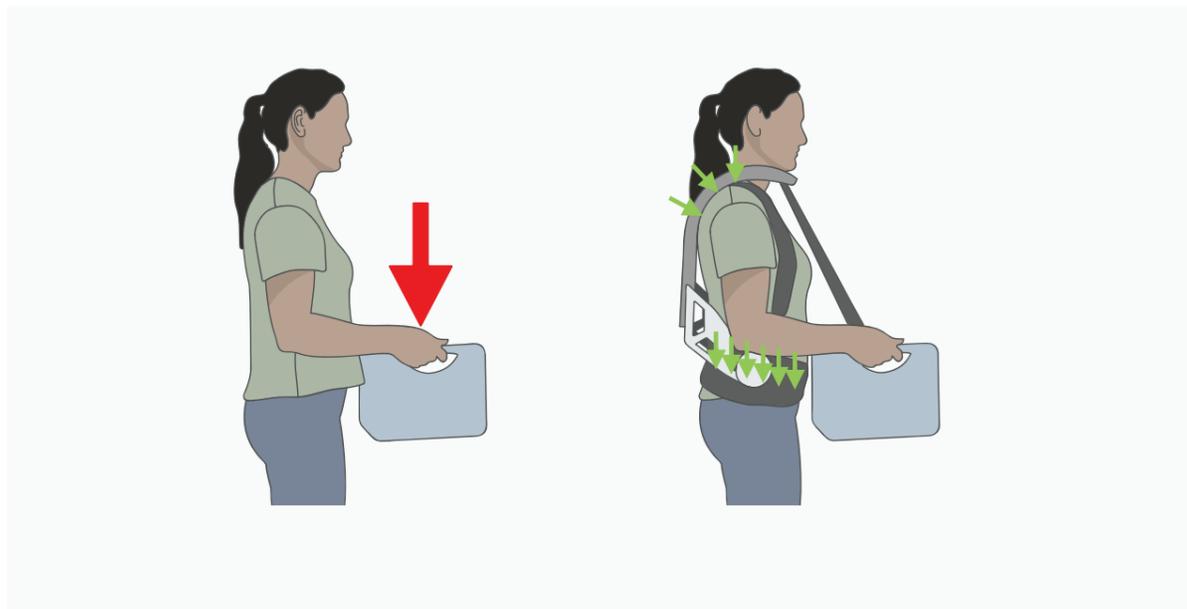


Ilustração do conceito de redistribuição de carga.
◀ À esquerda: A carga é transportada nas mãos e actua a partir daí sobre o corpo. ▶ Direita: O CarrySuit distribui a fixação da carga por toda a parte superior do corpo, reduzindo assim os picos de carga localizados.

O princípio da redistribuição da carga

Se uma carga externa atuar localmente ou de forma assimétrica sobre o corpo, por exemplo, se estiver a carregar um objeto pesado com uma mão, normalmente a maior carga será colocada apenas numa parte do corpo. Isto acontece porque a carga é transmitida ao solo pela via mais direta através do corpo. Isto significa também que existe um risco elevado de sobrecarregar localmente determinadas articulações, enquanto o resto do corpo é pouco afetado pela carga.

Naturalmente, a aplicação deste princípio significa que o exoesqueleto pode aumentar a carga noutras partes do corpo, como a anca, o que pode parecer contraproducente quando tomado fora de contexto. No entanto, também significa que a carga é distribuída de forma mais uniforme pelo corpo, evitando picos de carga localizados, que muitas vezes aumentam o risco de lesões.

Os exoesqueletos podem alterar esta situação, redistribuindo a carga e distribuindo-a mais uniformemente por partes maiores do corpo e afastando-a das partes do corpo em risco de sobrecarga localizada. Um exemplo de um exoesqueleto com distribuição de carga é o Auxivo CarrySuit, que consiste numa estrutura à volta da parte superior do corpo. Quando lhe é fixada uma carga, a estrutura distribui automaticamente a carga de forma mais uniforme pelo corpo do utilizador e fixa-a nas ancas e nos ombros de ambos os lados do corpo.

Secção 2 Como os Exoesqueletos Fornecem Suporte

Apoio com músculos artificiais

A ideia do suporte muscular artificial é simples: sistemas de tensão passivos ou activos no exterior do corpo geram uma força de suporte semelhante à força gerada pelos músculos humanos. Os exoesqueletos que utilizam este conceito têm "músculos artificiais" que estão ligados ao corpo, normalmente através de interfaces têxteis, e estão dispostos de forma a gerar uma força de tração paralela ao músculo humano subjacente, aliviando-o assim. Estes músculos artificiais podem ser accionados por um atuador ligado a um cabo ou realizados por molas ou bandas elásticas que se esticam durante o movimento e geram uma força de tração mecânica.

Este conceito é frequentemente utilizado pelos exoesqueletos têxteis (também conhecidos como exosuits), uma vez que não requer uma estrutura rígida. Neste caso, os músculos artificiais dependem do (endo) esqueleto humano para a sua estabilidade.

O principal objetivo dos músculos artificiais é reduzir o esforço dos músculos e tendões do utilizador. Quando os músculos do utilizador trabalham menos, cansam-se mais lentamente. Quando os músculos estão cansados, torna-se mais difícil coordená-los. O esforço repetitivo e a fadiga são factores de risco para o desenvolvimento de doenças músculo-esqueléticas. Assim, a ideia principal é apoiar os músculos humanos com músculos artificiais e reduzir a fadiga muscular, a exaustão, o risco de lesões musculares ou tendinosas e a carga de trabalho global.

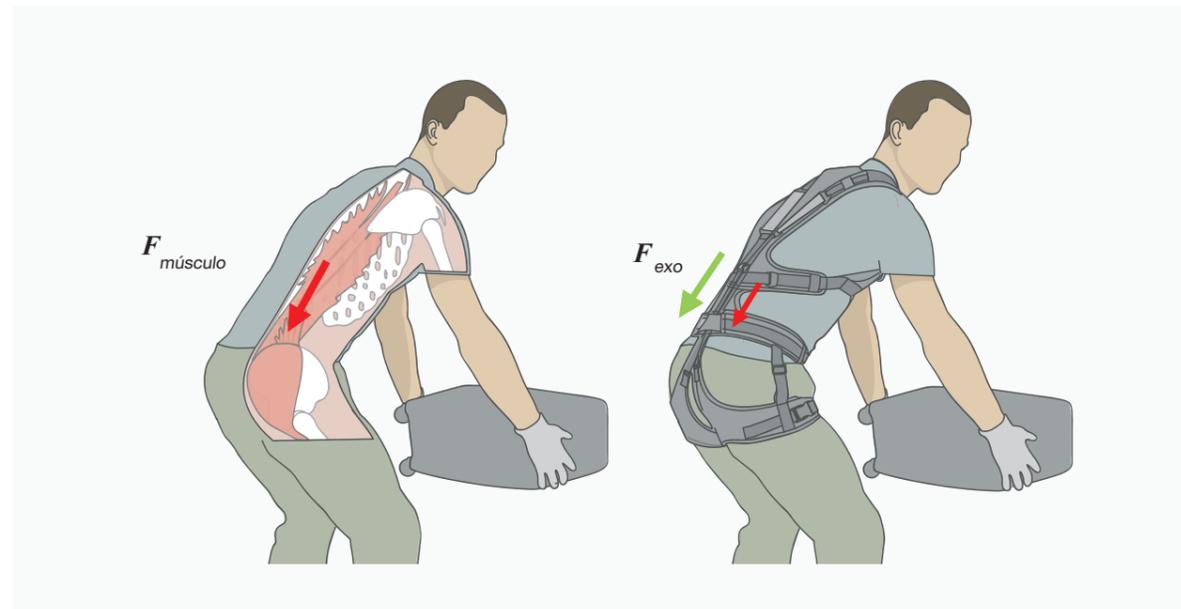


Ilustração de como os músculos artificiais do Auxivo LiftSuit aliviam os músculos das costas do utilizador. Quando o utilizador se inclina para a frente, os músculos das costas têm de se contrair e gerar uma força que mantém o corpo na posição de inclinação para a frente. Com o exoesqueleto do lado de fora, os "músculos artificiais" geram uma força que apoia diretamente os músculos subjacentes das costas, reduzindo assim a tensão muscular.

Secção 2
Como os Exoesqueletos Fornecem Suporte

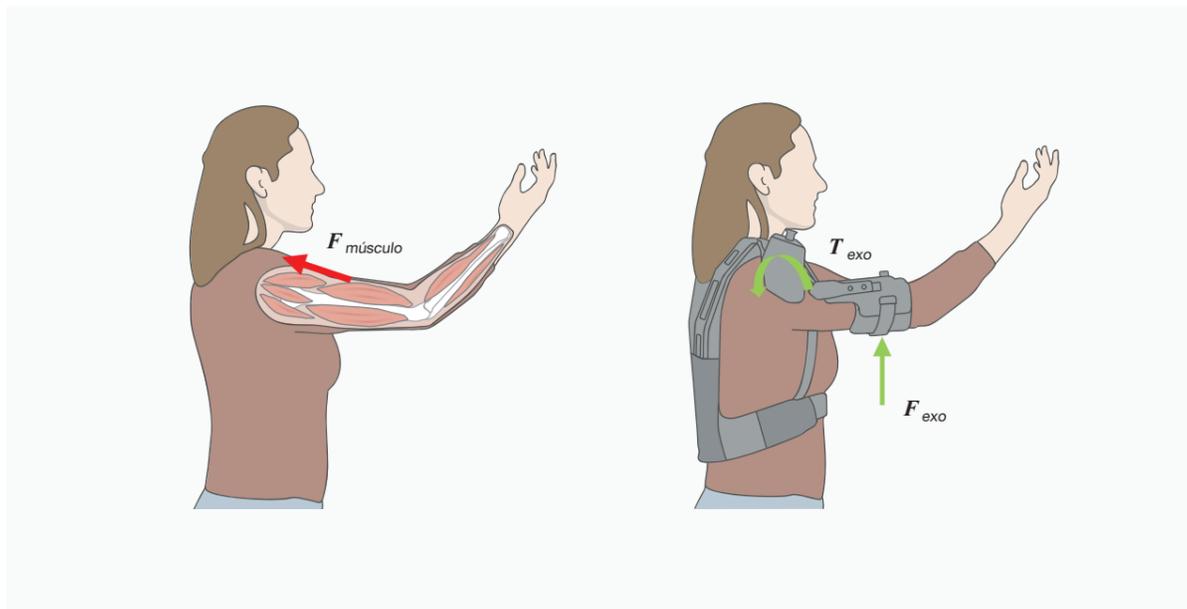


Ilustração do apoio fornecido pelo exoesqueleto ao nível das articulações.

◀ À esquerda: Quando o utilizador levanta o braço, os músculos correspondentes no ombro contraem-se e geram uma força de tração, que depois cria um binário na articulação do ombro que levanta o braço. ▶ Direita: Quando a articulação é suportada pelo exoesqueleto, este gera um binário na articulação que cria uma força ascendente na interface entre o antebraço e o braço, que suporta a elevação do braço.

Apoiar a articulação com um momento de rotação

Outra forma de os exoesqueletos apoiarem os seus utilizadores consiste em gerar um binário de apoio em torno de uma articulação específica.

Os exoesqueletos podem exercer um binário numa articulação de diferentes formas. Os exoesqueletos activos baseiam-se geralmente em actuadores motorizados e os exoesqueletos passivos baseiam-se geralmente em molas dispostas para gerar um binário ao nível da articulação. Em ambos os casos, os músculos humanos podem relaxar até um certo ponto, uma vez que pelo menos parte do binário articular necessário, por exemplo, para levantar o braço, é fornecido pelo exoesqueleto.

Outra vantagem deste método é o facto de poder reduzir a compressão das articulações e, potencialmente, evitar danos nas articulações, como a osteoartrite. A razão para isto é que o apoio das articulações também leva a uma redução da força muscular, semelhante à dos músculos artificiais. No entanto, ao contrário de um músculo artificial, uma força de tração não é simplesmente substituída por outra força de tração. O exoesqueleto gera um binário à volta da articulação e depois transmite esse binário através da estrutura rígida como uma força perpendicular ao corpo. Esta diferença mecânica pode levar a uma força de compressão globalmente menor na articulação.

É importante compreender que a compressão natural das articulações não é uma coisa má. De facto, ajuda a estabilizar a articulação sob carga. No entanto, quando se aplicam frequentemente forças elevadas a uma articulação, isso pode levar a lesões por uso excessivo e a dores causadas por danos nos ligamentos e na cartilagem da articulação.

Secção 2
Como os Exoesqueletos Fornecem Suporte

Compensação da gravidade

Uma vez que a gravidade é uma das principais causas de grande esforço físico, a compensação dos efeitos da gravidade com um exoesqueleto é uma abordagem importante.

A ideia de compensação da gravidade é explicada a seguir utilizando o exoesqueleto OmniSuit, que oferece apoio para as costas e para os ombros. A compensação da gravidade fornecida pelo módulo das costas começa a ter efeito assim que o utilizador se inclina para a frente e a gravidade começa a puxar a parte superior do corpo para baixo. Sem o apoio do exoesqueleto, os músculos das costas e da anca têm de compensar esta gravidade, contraindo e puxando a parte superior do corpo para cima. Quando se usa o OmniSuit, as molas elásticas nas costas são automaticamente esticadas quando a parte superior do corpo se inclina para a frente. Isto absorve parte desta tensão e alivia a tensão sobre os músculos humanos.

Outro exemplo é o módulo de ombro. Quando usado, apoia automaticamente o ombro quando o braço é levantado. A suspensão da articulação do ombro é concebida para proporcionar o máximo apoio quando o braço atinge uma posição horizontal, ou seja, quando está maximamente "exposto" à gravidade.

Um pormenor importante é que os dois módulos de apoio do exoesqueleto só compensam a força da gravidade quando esta exerce uma carga sobre as articulações correspondentes devido a um braço de alavanca. Nos nossos exemplos, o módulo de apoio das costas não puxa quando o utilizador está de pé, e o módulo de apoio dos ombros não empurra para cima quando os braços estão pendurados verticalmente ao lado do corpo. Os exoesqueletos só começam a apoiar o utilizador quando este se inclina para a frente ou levanta os braços.

Normalmente, um exoesqueleto não compensa totalmente a gravidade. Compensa apenas uma determinada percentagem (cerca de 20 a 50%) da força gravitacional sobre o corpo, facilitando cada repetição ou cada segundo de trabalho. Esta compensação parcial também significa que os músculos humanos não têm de tensionar as molas de um exoesqueleto passivo - a gravidade encarrega-se disso.

A compensação da gravidade, em combinação com o facto de os músculos humanos necessitarem de energia constante para manter uma força (ver secção I), são os principais princípios do apoio exoesquelético para tarefas estáticas, como a inclinação prolongada para a frente ou o trabalho suspenso.

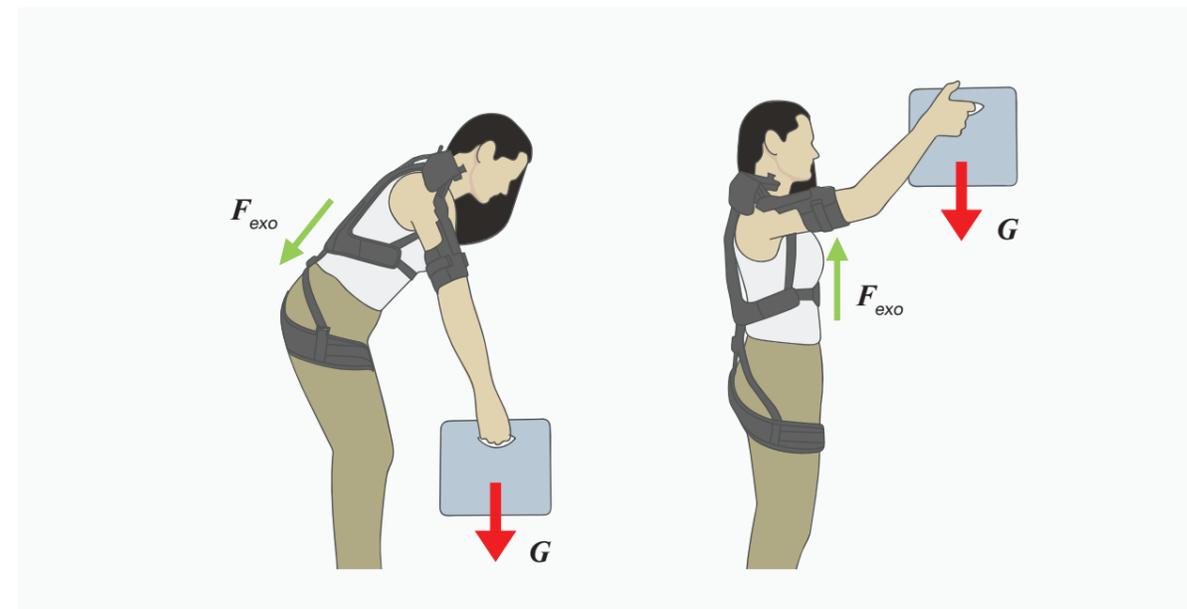


Ilustração do conceito de compensação da gravidade com o Auxivo OmniSuit

◀ À esquerda: Quando o utilizador se inclina para a frente ou segura uma carga à frente do corpo, a gravidade começa a puxar a parte superior do corpo para baixo. Quando ela usa o OmniSuit, inclinar-se para a frente estica automaticamente as molas na parte de trás do exoesqueleto. A força da mola resultante puxa a utilizadora para trás e equilibra alguma da atração da gravidade para a frente. ▶ Direita: O suporte de ombro do OmniSuit é mostrado. Quando o utilizador começa a levantar o braço, sente a força da gravidade a puxar o braço para baixo. Quando usa o OmniSuit, o exoesqueleto apoia cada vez mais o ombro quanto mais alto o braço é levantado e equilibra a força da gravidade para baixo, empurrando o braço para cima.

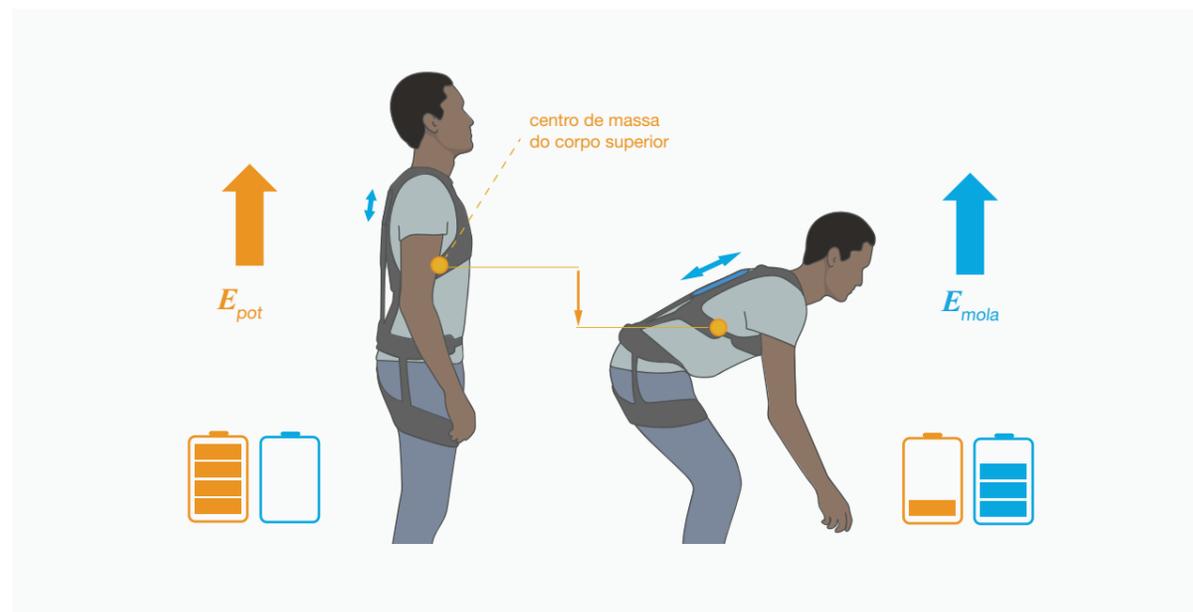


Ilustração do conceito de armazenamento e recuperação de energia.
Quando a pessoa está numa posição vertical, a massa da parte superior do corpo armazena energia potencial, enquanto nenhuma energia é armazenada nas molas do exoesqueleto. Quando o utilizador se inclina para a frente e baixa o centro de gravidade da parte superior do corpo, a energia potencial é libertada e transferida para as molas do exoesqueleto, onde é armazenada. Quando o utilizador regressa a uma posição vertical, a energia é convertida novamente em energia potencial, apoiando assim o movimento.

Recuperação de energia: fazer o trabalho apenas uma vez

Um conceito muito importante dos exoesqueletos passivos, baseados em molas, é a recuperação de energia. Uma pergunta frequente é de onde vem a energia necessária para tensionar as molas de um exoesqueleto passivo. A resposta é que a energia já lá está, armazenada no nosso corpo quando estamos de pé. Por outras palavras, acumulou a energia potencial do seu corpo de manhã, quando se levanta da cama. Cada objeto com uma massa num campo gravitacional tem a chamada energia potencial armazenada nele. A quantidade de energia armazenada nesse objeto é $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ ou seja, a massa m do objeto multiplicada pela sua altura h multiplicada pela aceleração gravitacional g . Esta energia potencial altera-se quando aumentamos a altura do objeto (é necessária energia adicional) ou reduzimos a altura (é libertada energia). No caso de um exoesqueleto de suporte de elevação, como o Auxivo LiftSuit, a energia de que estamos a falar é a energia potencial da massa do tronco humano.

Quando uma pessoa está de pé, a parte superior do corpo está no seu ponto mais alto e a massa da parte superior do corpo transporta energia potencial. Quando a pessoa se inclina para a frente, deslocando o centro de gravidade para baixo, a energia potencial é libertada. A maior parte desta energia perde-se por dissipação de energia. Quando queremos endireitar-nos novamente, os nossos músculos têm de utilizar energia adicional para restaurar a energia potencial.

Quando fixamos o LiftSuit com as suas molas mecânicas às costas da pessoa, esta mola é esticada quando a pessoa se inclina para a frente uma parte da energia potencial libertada pelo corpo é transferida para a mola e permanece armazenada no sistema em vez de se perder. A energia de uma mola é expressa pela seguinte equação: $E_{mola} = 1/2 \cdot k \cdot x^2$, em que k é a rigidez da mola e x é a deflexão da mola em relação à sua posição de equilíbrio. Quando a parte superior do corpo humano volta a mover-se para a posição vertical, a energia mecânica armazenada na mola é convertida novamente em energia potencial da parte superior do corpo. Este processo repete-se em cada elevação, e a energia armazenada é transferida e convertida entre o corpo humano e o exoesqueleto.

É claro que a mola não pode armazenar toda a energia potencial e o processo também não é 100% eficiente, por exemplo, devido à fricção. Mas mesmo que apenas uma determinada percentagem da energia potencial seja armazenada e recuperada após cada elevação, este processo reduz significativamente a carga de trabalho.

O princípio da recuperação de energia é a razão pela qual os exoesqueletos com molas são tão eficientes em termos energéticos e podem proporcionar um bom nível de apoio, sendo simultaneamente pequenos, leves e económicos.

Secção 3 Mal-entendidos Comuns

Nesta última secção, gostaríamos de abordar alguns equívocos comuns que ouvimos frequentemente e que muitas vezes causam confusão. Se leu as secções anteriores, será capaz de reconhecer rapidamente os falsos pressupostos em que estes equívocos se baseiam.

Primeiro equívoco: apenas os exoesqueletos activos oferecem um verdadeiro apoio, porque com os sistemas passivos é necessário gastar energia primeiro. O maior equívoco é que, com um exoesqueleto passivo, os seus músculos têm de exercer a força para tensionar as molas do exoesqueleto. Isto significa que o utilizador tem de fornecer primeiro a energia que mais tarde o sustentará. Não se trata, portanto, de um apoio "real", uma vez que tem de ser o próprio utilizador a fazer todo o trabalho. Os sistemas activos, por outro lado, fornecem potência e energia adicionais. Por conseguinte, é lógico que só os sistemas activos podem apoiá-lo.

Este mal-entendido baseia-se em vários pressupostos falsos que podem ser rapidamente dissipados se aplicarmos os conceitos de compensação da gravidade, recuperação de energia e considerarmos as diferenças entre mecânica técnica e biomecânica.

O primeiro pressuposto incorreto está relacionado com as forças.

Parte-se do princípio de que os músculos humanos têm de tensionar ativamente as molas do exoesqueleto passivo. Como sabemos, desde que as molas passivas apenas contrabalançam a força da gravidade sobre o corpo, não é necessário aplicar qualquer força adicional para pré-tensionar a mola, porque a gravidade fá-lo-á por si. Se o suporte da mola for bem concebido, não compensará demasiado o peso do seu corpo em qualquer posição e nunca terá de utilizar os seus músculos para tensionar a mola.

O segundo falso pressuposto está relacionado com o balanço energético.

Parte-se do princípio de que, com um sistema passivo, é sempre necessário investir energia e, se tivermos sorte, receber alguma de volta. Consequentemente, trata-se, na melhor das hipóteses, de um balanço energético de soma zero, o que significa que não existe um verdadeiro apoio ou alívio.

Um dos aspectos desta ideia errada sobre a energia é que um balanço energético de soma zero é mau e ineficaz. Na realidade, um balanço energético de soma zero seria um resultado espetacular. Significaria que poderíamos fazer agachamentos intermináveis sem suar muito, porque recuperamos toda a nossa energia em cada repetição através da recuperação de energia. No entanto, a realidade de levantar e inclinar-se para a frente é muito pior. O nosso corpo queima energia cada vez que nos inclinamos para a frente. Cada vez que dobramos os joelhos, a energia potencial do nosso corpo perde-se quase completamente e tem de ser reconstruída com a força muscular.

Por conseguinte, um exoesqueleto passivo, baseado em molas, que recupera mesmo uma pequena percentagem de energia em cada elevação, pode fazer uma diferença significativa. É verdade que este exoesqueleto não acrescenta energia ao sistema. No entanto, evita que percamos e desperdicemos energia durante o trabalho, o que é uma forma muito mais eficiente de fornecer apoio.

Outro aspeto deste falso pressuposto energético é o facto de não serem tidas em conta as diferenças entre um sistema mecânico e um sistema biomecânico. O ser humano pode poupar muito mais energia do que a armazenada na mola mecânica, simplesmente porque, como descrito acima, o apoio permanente de uma mola mecânica pré-tensionada poupa ao utilizador humano energia adicional a cada segundo devido ao metabolismo muscular humano.

Segundo equívoco: os exoesqueletos reduzem a carga de uma parte do corpo, transferindo-a para outra e aumentando-a nessa parte, o que pode até ser perigoso.

Comecemos por reconhecer que algumas partes desta afirmação não estão categoricamente erradas. Como já foi referido, os exoesqueletos podem utilizar a redistribuição de carga de diferentes formas. Mas a afirmação citada acima implica que a redistribuição de carga é sempre necessária e leva a um aumento da carga em partes do corpo que não estavam previamente carregadas. Também implica que a redistribuição de carga de uma parte do corpo para outra é, por si só, algo mau e pouco saudável, e são exatamente estes os equívocos que queremos abordar:

Em primeiro lugar, a carga local pode ser reduzida sem aumentar a carga noutros locais:

Utilizando o conceito de trajetória de carga alternativa descrito acima, é possível reduzir a carga no corpo humano e em partes individuais do corpo sem necessariamente a aumentar noutros locais. O exoesqueleto externo simplesmente fornece um caminho de carga alternativo para o chão, onde toda a carga induzida pela gravidade no corpo acaba por chegar. Então, porque não deixar de fora as partes do corpo que estão em risco de sobrecarga?

Em segundo lugar, pode ser útil distribuir uma carga por uma área maior do corpo:

A redistribuição da carga, em que se aceita um aumento da carga noutras partes do corpo, é uma abordagem que pode ser utilizada deliberadamente. Embora isto signifique aumentar a carga em algumas partes do corpo, se for utilizada corretamente, a redistribuição da carga não é necessariamente uma coisa má. A carga pode ser distribuída de forma mais uniforme por uma parte maior do corpo. A redistribuição da carga também pode significar uma melhor equalização da carga, de modo a que, por exemplo, uma carga assimétrica possa ser distribuída mais uniformemente entre os lados esquerdo e direito do corpo. Uma carga de 120% e 50% da capacidade máxima do lado esquerdo e direito do corpo é mais prejudicial para a saúde do que uma divisão 90% - 80%.

Resumo e Observações Finais

Esperamos que tenha gostado deste white paper e que o tenha ajudado a compreender como funcionam os exoesqueletos modernos e quais os conceitos utilizados para os apoiar.

Já deve ter ficado claro que há muitos conceitos a escolher quando se concebe um exoesqueleto e que é essencial uma boa compreensão dos princípios mecânicos e biomecânicos para garantir que o desenho resultante oferece o melhor desempenho possível e o máximo benefício aos seus utilizadores.

A maior parte dos princípios discutidos podem ser utilizados por todos os tipos de exoesqueletos e são, de certa forma, universais. Quer se trate de um exoesqueleto ativo ou passivo, rígido ou macio, todos eles aplicarão, de uma forma ou de outra, alguns dos conceitos acima descritos.

Esta é também a razão pela qual nenhuma destas categorias de exoesqueletos é inerentemente melhor ou pior do que as outras. Todas elas assentam nas mesmas ideias básicas, que são apenas concretizadas utilizando tecnologias diferentes.

Se quiser saber mais sobre os exoesqueletos, recomendamos que visite o nosso sítio Web. Aí pode explorar a nossa gama de exoesqueletos profissionais para várias indústrias. Se quiser saber mais sobre a tecnologia dos exoesqueletos, a nossa série EduExo de exoesqueletos educativos pode ajudá-lo a aprender a conceber e construir o seu próprio exoesqueleto.

Sobre os Autores



Volker Bartenbach

Volker é cofundador e Diretor Executivo da Auxivo. Com um doutoramento em robótica de exoesqueletos e mais de 12 anos de experiência no desenvolvimento, investigação e comercialização de exoesqueletos, o seu objetivo é desenvolver exoesqueletos de alto desempenho e torná-los acessíveis a mais pessoas.



Rachel van Sluijs

Rachel é a Directora de Investigação da Auxivo. Com um doutoramento em Neurociências e um mestrado em Ciências do Exercício, o seu trabalho visa compreender e otimizar a interação entre os exoesqueletos vestíveis e o utilizador para garantir que o corpo humano pode tirar o máximo partido do apoio fornecido pelo exoesqueleto.



Roger Gassert

Roger é cofundador e consultor científico da Auxivo. É também Professor Catedrático de Engenharia de Reabilitação na ETH Zurich. A sua investigação centra-se no desenvolvimento e na validação clínica de tecnologias de reabilitação portáteis e vestíveis, como os exoesqueletos.

Sobre a Auxivo AG

A Auxivo AG é uma empresa líder no desenvolvimento e fabrico de exoesqueletos e foi fundada em 2019 como um spin-off da ETH Zurich. A missão da empresa é melhorar a segurança e o bem-estar dos trabalhadores, fornecendo soluções inovadoras e acessíveis que reduzem a carga de trabalho físico e o risco de lesões. O portefólio de exoesqueletos da empresa, em rápido crescimento, oferece soluções práticas para setores como a logística, a indústria transformadora, a construção e os cuidados de saúde.

Direitos de autor

November 2023 © Auxivo AG

Traduzido por Yannick Graf

O conteúdo deste documento está protegido por direitos de autor. Todos os direitos reservados.

Auxivo® LiftSuit® CarrySuit® DeltaSuit® e OmniSuit® são marcas registadas propriedade da Auxivo AG em regiões seleccionadas.

Independentemente do objetivo, a utilização destas marcas comerciais é proibida sem a autorização por escrito da Auxivo AG.

Alterações técnicas, erros e omissões sem aviso prévio.

Auxivo AG
Sonnenbergstrasse 74
8603 Schwerzenbach
Switzerland

info@auxivo.com
+41 77 250 35 31

auxivo.com

AUXIVO