

AUXIVO

Libro Blanco

Cómo los exoesqueletos ofrecen apoyo

auxivo.com



Introducción

Bienvenido al Libro Blanco de Auxivo! En este documento se analizan los principios mecánicos y biomecánicos más importantes sobre el funcionamiento de los exoesqueletos vestibles y el apoyo que prestan a sus usuarios.

Los exoesqueletos vestibles son dispositivos que utilizan los usuarios humanos para brindarles apoyo físico. Hoy en día se utilizan en aplicaciones médicas, por ejemplo, para ayudar a usuarios con problemas de movilidad, y en entornos ocupacionales donde apoyan a los trabajadores reduciendo su carga de trabajo disminuyendo el agotamiento y las lesiones causadas por sobrecargas.

Nuestro objetivo con este Libro Blanco es proporcionar al lector la información necesaria para comprender la interacción entre el ser humano y el exoesqueleto y cómo los exoesqueletos pueden reducir el esfuerzo físico del cuerpo humano. Aborda los conceptos comunes del apoyo con exoesqueletos a un nivel conceptual para proporcionar una buena visión de conjunto y añade detalles técnicos o científicos sólo cuando es necesario para su comprensión.

Además, y siendo usted, lector, un usuario potencial de un exoesqueleto, también es nuestro objetivo que comprenda las posibilidades y limitaciones de los exoesqueletos y, de este modo, pueda tomar una decisión, informada y basada en hechos, si es que los exoesqueletos son la opción adecuada para usted.

Esperamos que disfrute de la lectura. No dude en ponerse en contacto con nosotros si tiene más preguntas.

El equipo Auxivo

El documento se estructura en tres secciones:

La sección 1

presenta los principios más importantes de la mecánica de ingeniería y la biomecánica necesarios para comprender cómo proporcionan apoyo los exoesqueletos.

La sección 2

Analiza los mecanismos y conceptos de cómo los exoesqueletos vestibles ayudan a sus usuarios.

La sección 3

Aborda algunos de los conceptos erróneos más comunes sobre el funcionamiento de los exoesqueletos, aplicando la información y los conceptos introducidos en las secciones 1 y 2.

Sección 1

Principios (bio)mecánicos importantes

Antes de hablar de cómo proporcionan apoyo los exoesqueletos, debemos introducir algunos principios mecánicos y biomecánicos importantes. Esto nos ayudará a comprender cómo el trabajo físico provoca tensión en el cuerpo humano y cómo un sistema mecánico puede ayudar a reducir esta tensión. Una vez que hayamos comprendido estos fundamentos, entender los mecanismos de soporte de los exoesqueletos será fácil, ya que se basan en ellos.

El sistema musculoesquelético humano

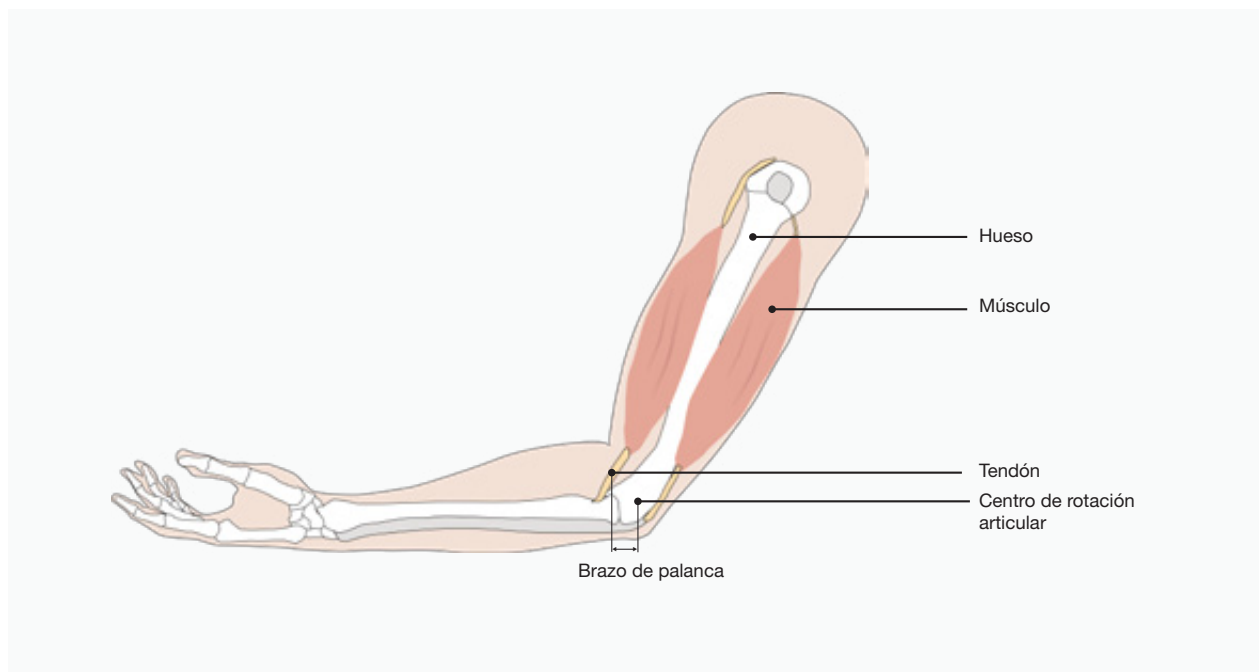
En primer lugar, resumamos rápidamente y a muy alto nivel cómo el cuerpo humano puede mover, sujetar y levantar objetos observando su sistema musculoesquelético.

Los huesos de nuestro esqueleto están conectados por articulaciones que permiten el movimiento entre los mismos. Los músculos conectan los diferentes huesos a través de una o varias articulaciones mediante los tendones (interfase musculo-hueso). Cuando los músculos se contraen, crean una fuerza de tracción sobre los huesos. Existe cierta distancia entre la unión del músculo y el centro de rotación de la articulación, que denominamos brazo de palanca. Debido a este brazo de palanca, la fuerza muscular se traduce en una

fuerza de rotación (también llamada torsión) a nivel de la articulación, causando que los huesos se muevan rotando alrededor de la articulación.

Si una carga externa (o el propio peso del cuerpo humano) impone un par de torsión a una articulación humana, los músculos correspondientes deben contraerse para generar un contrapar de torsión alrededor de esta articulación. Esto permite al ser humano sostener o mover una carga externa mediante la fuerza muscular. Los músculos humanos sólo pueden generar una fuerza de tracción. No pueden empujar contra un hueso. Para generar movimiento en dos direcciones, tiene (al menos) dos músculos por articulación, que pueden contrarrestar la fuerza del otro. Llamamos agonista y antagonista a un conjunto de músculos que se contrarrestan.

Si activa al mismo tiempo los músculos agonistas y antagonistas de una articulación, ésta se vuelve muy rígida. De este modo, puede evitar que se mueva y crear estabilidad. Esto se denomina cocontracción. La cocontracción también puede utilizarse para estabilizar una serie de articulaciones, como la columna vertebral. Por ejemplo, en la vida cotidiana, los músculos de la espalda y los abdominales colaboran para generar y mantener una postura erguida.



Sección 1

Principios (bio)mecánicos importantes

Brazos de palanca - Por qué la misma carga puede provocar diferentes tensiones en nuestro cuerpo

La fuerza que deben generar los músculos humanos al manipular una carga externa depende de varios factores. Uno de ellos es la masa absoluta de la carga externa. Hay, por supuesto, una diferencia si usted sostiene 5 kg o 20 kg. Sin embargo, hay algo más que es importante comprender.

La forma en que sujeta y maneja la masa puede influir significativamente en la tensión que provoca en su cuerpo, más que la propia masa de la carga. Imaginemos (o intentemos) sostener una bolsa de 10 kg. Si lleva la bolsa a un lado de su cuerpo, podrá sostenerla sin mucho esfuerzo durante mucho tiempo. Pero en el momento en que la levanta por delante de su cuerpo, siente al instante que la carga en su hombro aumenta y claramente requiere mayor esfuerzo para sostenerla en esta posición.

La razón de este efecto es que, a menudo, no es la fuerza el aspecto crítico que ejerce la tensión primaria sobre su cuerpo, sino más bien el par que esta fuerza crea en sus articulaciones. Este par es la fuerza multiplicada por la distancia horizontal entre la fuerza y el centro de rotación de la articulación (brazo de palanca): $T = F * L$, donde T es el par, F es la fuerza y L es el brazo de palanca.

Como resultado, aumentar el brazo de palanca horizontalmente sosteniendo una carga delante de usted o inclinando el cuerpo hacia delante puede aumentar rápidamente el par articular de forma significativa, lo que puede provocar una sobrecarga en las articulaciones afectadas.



Efecto del brazo de palanca (la distancia horizontal entre la articulación humana y la fuerza externa).

◀ Izquierda: La persona lleva una bolsa a un lado del cuerpo. La bolsa está más o menos alineada verticalmente con la articulación del hombro. Como resultado, el peso de la bolsa sólo induce un pequeño par en la articulación del hombro que debe ser contrarrestado por los músculos del hombro.

▶ Derecha: la persona sujeta una bolsa por delante del cuerpo. Esto da lugar a una distancia horizontal considerable (brazo de palanca) entre el centro de masa de la bolsa y el eje de rotación de la articulación del hombro, lo que provoca un par mayor que los músculos del hombro deben compensar.

Sección 1

Principios (bio)mecánicos importantes



La influencia de la masa corporal y la postura en el campo gravitatorio sobre la carga articular.

◀ Izquierda: Con el cuerpo en posición erguida y los brazos colgando verticalmente a los lados, la carga sobre el hombro, la espalda y la cadera es relativamente pequeña. ▶ Centro: Con la parte superior del cuerpo en una posición más inclinada hacia delante, la carga sobre la espalda y las caderas aumenta. ▶ Derecha: Con el brazo inclinado hacia delante, el centro de masa del brazo tiene una distancia horizontal a la articulación del hombro, lo que da lugar a un par significativo del brazo de palanca y del hombro.

Gravedad y masa del cuerpo humano

En relación directa con el apartado anterior, cabe destacar el papel dominante que desempeñan la gravedad y la masa del cuerpo humano cuando hablamos de carga de trabajo o esfuerzo. Aunque hay otros aspectos en juego, como la fuerza dinámica causada por las aceleraciones y los movimientos, la gravedad es nuestro principal enemigo en lo que respecta a la carga de trabajo físico. Tira permanentemente de todo hacia abajo, incluida cualquier carga que manipulemos y todas las partes de nuestro cuerpo. Nuestros músculos deben trabajar continuamente para contrarrestar la fuerza gravitatoria descendente.

Es importante tener en cuenta que el principio del brazo de palanca descrito anteriormente también se aplica a la masa y al centro de masa de nuestros segmentos corporales. Así, la tensión causada en nuestras articulaciones y músculos individuales depende en gran medida de nuestra postura corporal. Cuando nos mantenemos erguidos, la carga sobre nuestros músculos es relativamente pequeña. Sin embargo, en cuanto inclinamos la parte superior del cuerpo hacia delante o levantamos los brazos, aumentamos significativamente las cargas articulares y los músculos de la espalda o los hombros tienen que trabajar duro, como se ilustra a continuación.

Muy a menudo, la tensión causada por la propia masa corporal es el principal contribuyente a la carga de trabajo global. Para entenderlo, podemos fijarnos en nuestro ejemplo anterior de inclinación hacia delante. Alrededor del 60% del peso del cuerpo humano se localiza normalmente en la cabeza, los brazos y el torso. Por lo tanto, los músculos de la espalda y la cadera de una persona de 80 kg que simplemente se inclina hacia delante ya tienen que estabilizar unos 50 kg de carga. Esto significa que la tensión del cuerpo causada por su propio peso es a menudo mayor que la tensión adicional causada por levantar un objeto de 10 kg o 15 kg. Por lo tanto, utilizar un exoesqueleto para compensar el peso del cuerpo puede reducir significativamente la carga.

Sección 1

Principios (bio)mecánicos importantes

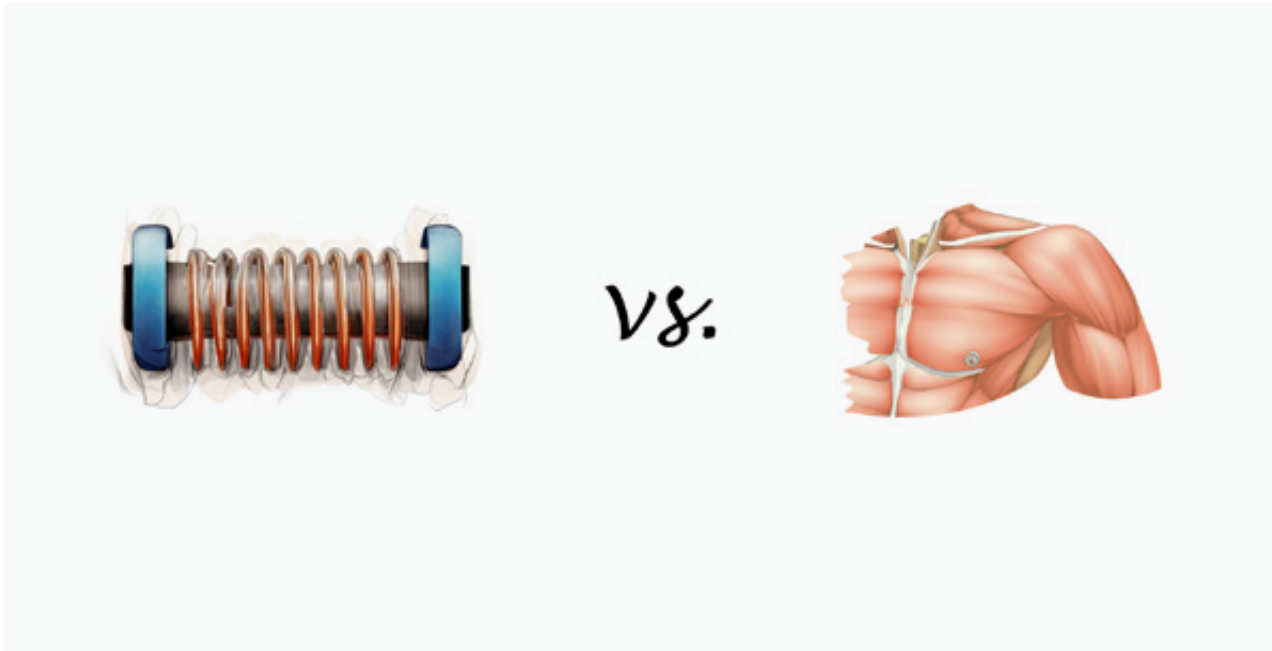
Diferencias importantes entre la ingeniería mecánica y la biomecánica

El cuerpo humano no es una máquina. Y aunque esto pueda sonar bastante obvio, es esencial comprender lo que esto significa a nivel mecánico y biomecánico. Aunque muchos principios de la mecánica de ingeniería (que se ocupa de las fuerzas y los movimientos en las máquinas) y la biomecánica (que se ocupa de las fuerzas y los movimientos en el cuerpo humano) son similares, existen diferencias. Al hablar de exoesqueletos, una diferencia importante es cómo crean fuerza los músculos humanos y los resortes mecánicos.

Un músculo en tensión es muy diferente de un muelle mecánico en tensión desde una perspectiva energética. Estirar un muelle mecánico requiere energía. Esta energía se libera cuando el muelle se alivia. Mientras está estirado, el muelle mecánico crea permanentemente una fuerza sin necesidad de energía adicional. Esta fuerza puede utilizarse para soportar una carga contra la gravedad.

Por otro lado, los músculos humanos generan fuerza mediante la contracción utilizando proteínas que convierten la energía química en energía mecánica. Las proteínas del músculo pueden deslizarse unas contra otras, acortando las fibras musculares, lo que produce una fuerza de tracción. Mientras está activo, el músculo requiere permanentemente la energía que le proporcionan los procesos metabólicos celulares. Esto puede provocar un agotamiento de las reservas de energía, fatiga neuromuscular y otros efectos metabólicos y neuromusculares que necesitan energía y limitan la capacidad del músculo para contraerse.

En resumen, un muelle mecánico, una vez extendido, puede crear una fuerza permanente sin energía adicional. Por el contrario, un músculo humano requiere un suministro constante de energía para mantenerse contraído, lo que conduce a la fatiga y el agotamiento.



Es esencial comprender que los muelles mecánicos y los músculos humanos generan la fuerza de forma diferente. Un muelle mecánico pretensado no necesita energía para generar una fuerza constante y puede soportar una carga indefinidamente. Por el contrario, los músculos humanos necesitarán un suministro constante de energía y se fatigarán rápidamente.

Sección 2

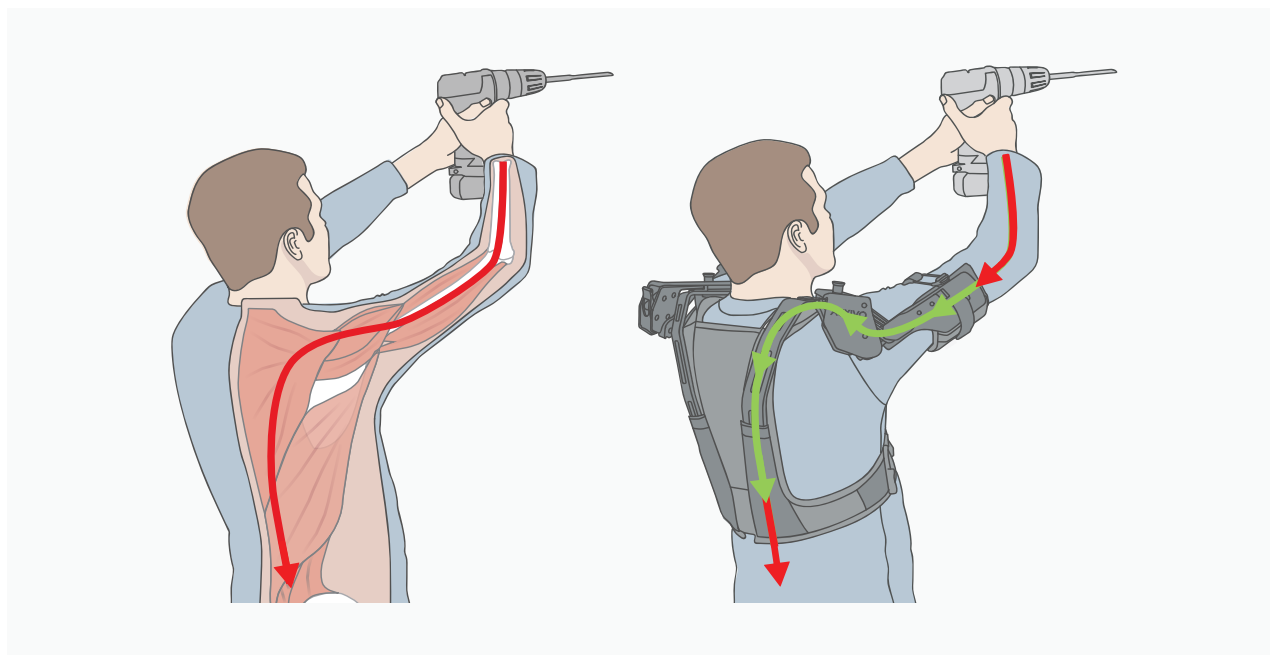
Cómo ayudan los exoesqueletos al usuario

Ahora que hemos cubierto los fundamentos (bio) mecánicos más importantes, exploremos cómo los exoesqueletos pueden ayudar a sus usuarios. La mayoría de los exoesqueletos combinan varios de los siguientes principios, pero hablaremos de cada uno por separado para facilitar su comprensión.

El principio de derivación

Se trata de un enfoque relativamente sencillo pero eficaz. Muchos exoesqueletos desvían mecánicamente la carga alrededor de una o varias articulaciones humanas. Así, para las partes del cuerpo cubiertas por el exoesqueleto, éste transfiere la carga (o parte de ella) de su cuerpo al exoesqueleto, y la carga se dirige entonces a través del exoesqueleto y elude su sistema musculoesquelético. En el punto de fijación inferior del exoesqueleto, la carga se transfiere de nuevo al cuerpo, donde se traslada al suelo, de forma similar a la trayectoria de la carga sin el exoesqueleto.

Por ejemplo, cuando sostiene una masa de 5 kg en la mano, esta carga se canaliza a través de la muñeca, el codo y el hombro, baja por la columna vertebral, pasa por la cadera hasta las piernas, las rodillas, los tobillos y, finalmente, llega al suelo. Por el camino, somete a tensión todas estas partes del cuerpo. Cuando se utiliza un exoesqueleto de hombro, como el Auxivo DeltaSuit, una parte significativa de la carga se transfiere directamente de la parte superior de su brazo a su torso, evitando la articulación del hombro, que es más sensible a las cargas.



El principio de derivación se ilustra con el traje DeltaSuit de Auxivo

La flecha roja indica la trayectoria de la carga a través del cuerpo y la verde a través del exoesqueleto. La transferencia de la carga al exoesqueleto puede reducir la tensión en los músculos, tendones y articulaciones a lo largo de la sección puenteada.

Sección 2

Cómo ayudan los exoesqueletos al usuario

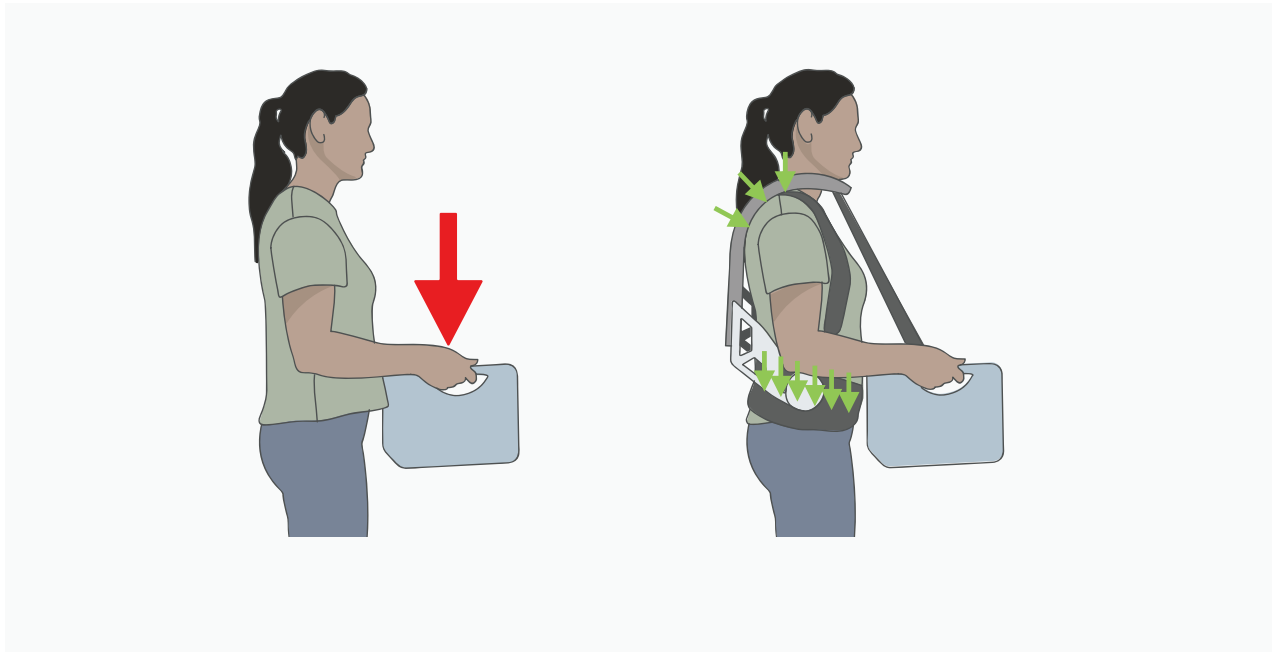


Ilustración del concepto de redistribución de la carga

◀ Izquierda: la carga se lleva en las manos y afecta al cuerpo desde allí. ▶ Derecha: El CarrySuit reparte la fijación de la carga por toda la parte superior del cuerpo, reduciendo los picos locales.

El principio de redistribución de la carga

Cuando una carga externa afecta a su cuerpo de forma local o asimétrica, por ejemplo, cuando lleva algo pesado con una mano, normalmente causará la mayor parte de la tensión sólo en una pequeña parte de su cuerpo. Así, sucede porque la carga se dirigirá por el camino más directo a través de su cuerpo hasta el suelo. También, significa que tiene un alto riesgo de sobrecarga local en articulaciones específicas, mientras que el resto de su cuerpo apenas se verá afectado por la carga.

Los exoesqueletos pueden cambiar esta situación redistribuyendo la carga y repartiéndola de forma más uniforme por partes más amplias del cuerpo y alejándola de las partes del cuerpo con riesgo de sufrir una sobrecarga local. Un ejemplo de exoesqueleto que utiliza la distribución de la carga es el Auxivo CarrySuit, que consiste en un armazón alrededor de la parte superior del cuerpo. Cuando se le coloca una carga, el armazón distribuye automáticamente la carga de forma más uniforme por todo el cuerpo del usuario, conectándola a la cadera y al hombro por ambos lados.

Aplicar este principio, por supuesto, significa que el exoesqueleto puede aumentar la carga en otras partes del cuerpo, como la cadera, lo que, fuera de contexto, podría sonar contraproducente. Sin embargo, también significa que la carga se distribuye de forma más uniforme por todo el cuerpo, evitando los picos de carga locales que suelen aumentar el riesgo de lesiones. Además, la cadera y los grupos musculoesqueléticos inferiores están mejor preparados para soportar cargas continuas.

Sección 2

Cómo ayudan los exoesqueletos al usuario

Apoyo muscular con músculos artificiales

El soporte muscular artificial es sencillo: sistemas tensores pasivos o activos en el exterior del cuerpo crean una fuerza de soporte similar a la creada por los músculos humanos. Los exoesqueletos que utilizan este concepto tienen “músculos artificiales” que se conectan al cuerpo, normalmente mediante interfaces textiles, y se disponen para crear una fuerza de tracción paralela a la del músculo humano que se encuentra debajo, dando así soporte a este músculo. Estos músculos artificiales pueden alimentarse mediante un actuador conectado a un cable o realizarse a través de muelles o bandas elásticas que se estiran durante el movimiento y crean una fuerza de tracción mecánica.

Este concepto es utilizado a menudo por los exoesqueletos textiles (también denominados Exosuits o Exotrajés) porque pueden utilizarse sin un armazón rígido, casi como una vestimenta. En este caso, los músculos artificiales dependen del (endo)esqueleto humano para su estabilidad.

El principal objetivo de los músculos artificiales es reducir la tensión de los músculos y tendones del usuario. Si los músculos del usuario trabajan menos, se fatigan con mayor lentitud. Cuando los músculos están cansados, resulta más difícil coordinarlos. El esfuerzo repetitivo y la fatiga son factores de riesgo para desarrollar trastornos musculoesqueléticos, así como el manejo incorrecto de las cargas. Entonces, la idea principal es ayudar a los músculos humanos con músculos artificiales y reducir la fatiga muscular, el agotamiento, el riesgo de lesión de los músculos o tendones y la carga de trabajo global.

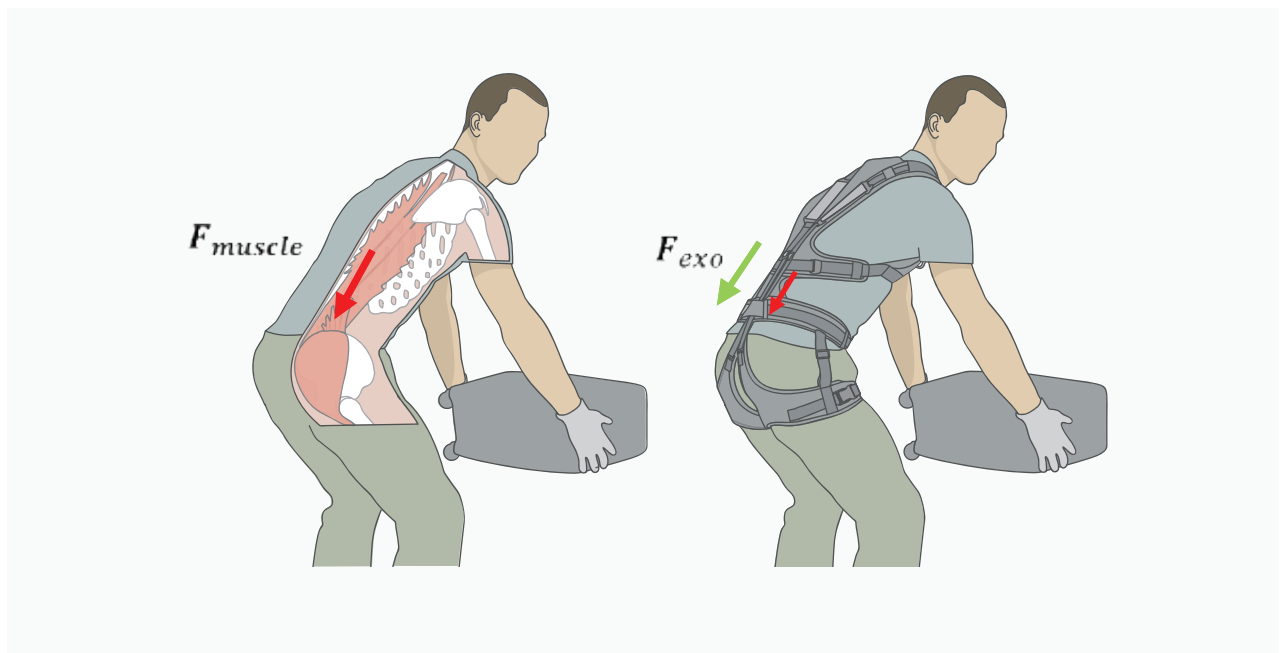


Ilustración de cómo los músculos artificiales del traje Auxivo LiftSuit sostienen los músculos de la espalda del usuario.

Cuando el usuario se inclina hacia delante, los músculos de la espalda deben contraerse y crear una fuerza para mantener el cuerpo en la posición de inclinación hacia delante. Con el exoesqueleto en el exterior, los « músculos artificiales » crean una fuerza que soporta directamente los músculos de la espalda por debajo, reduciendo así la tensión muscular.

Sección 2

Cómo ayudan los exoesqueletos al usuario

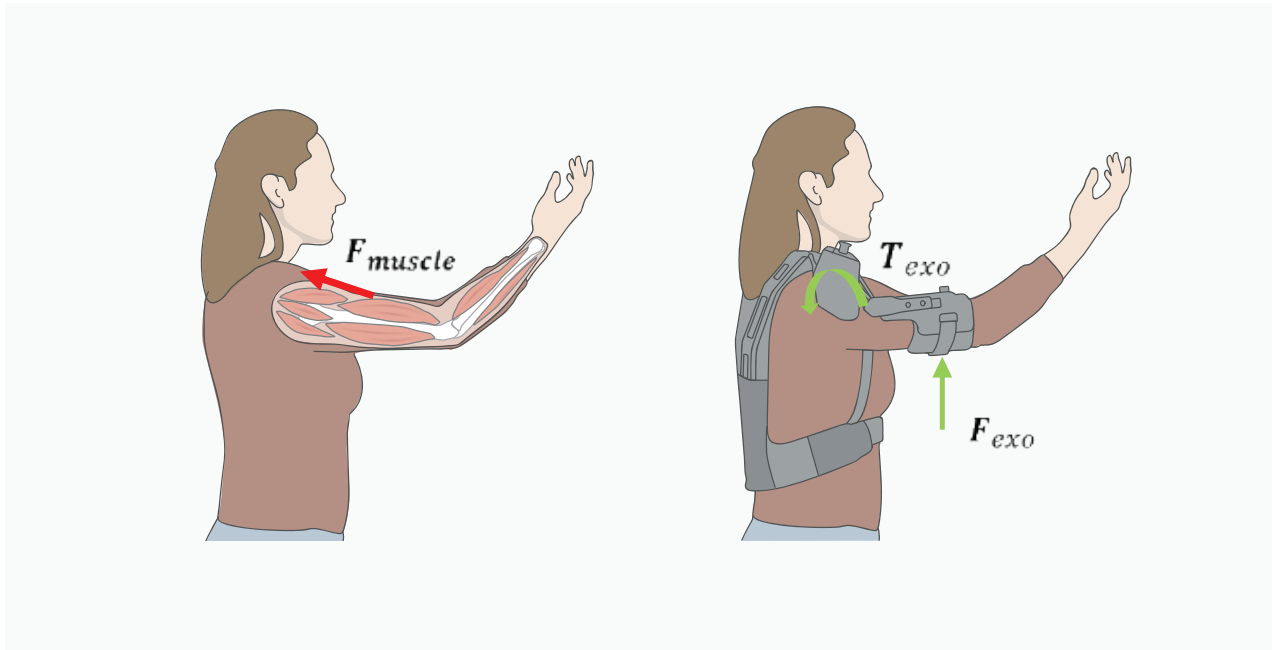


Ilustración del soporte del exoesqueleto a nivel articular.

◀ Izquierda: Cuando la usuaria levanta el brazo, los músculos correspondientes del hombro se contraen y crean una fuerza de tracción, que a su vez crea un par en la articulación del hombro que levanta el brazo. ▶ Derecha: Con la articulación apoyada en el exoesqueleto, éste proporciona un par en la articulación que crea una fuerza ascendente en la interfaz entre la parte superior del brazo para apoyar el levantamiento del brazo.

Apoyo articular con un par

Otra posibilidad de cómo los exoesqueletos pueden ayudar a sus usuarios es aplicando una torsión de asistencia alrededor de una articulación específica.

Los exoesqueletos pueden generar torsión articular de diferentes maneras. Los exoesqueletos activos se basan normalmente en actuadores motorizados, y los pasivos, en muelles dispuestos de tal forma que generan la torsión a nivel de la articulación. En ambos casos, los músculos humanos pueden relajarse hasta cierto punto, ya que al menos parte del par articular necesario, por ejemplo para levantar el brazo, lo proporciona el exoesqueleto.

Otra ventaja de este método es que puede reducir la compresión articular y prevenir potencialmente daños articulares como la artrosis. La razón es que el apoyo articular también provoca una reducción de la fuerza muscular similar a la de los músculos artificiales. Sin embargo, a diferencia de un músculo artificial, no se limita a sustituir una fuerza de tracción por otra. Crea una torsión alrededor de la articulación del exoesqueleto y luego transfiere esta torsión a través del armazón rígido como una fuerza perpendicular al cuerpo. Esta diferencia mecánica puede dar lugar a una reducción general de la fuerza de compresión sobre la articulación.

Es importante señalar que la compresión natural de la articulación no es nada malo. De hecho, ayuda a estabilizar la articulación bajo carga. Sin embargo, si se imponen fuerzas elevadas sobre una articulación con frecuencia, esto puede provocar lesiones por uso excesivo y dolor causado por el daño a los ligamentos y cartílagos de la articulación.

Sección 2

Cómo ayudan los exoesqueletos al usuario

Compensación de la gravedad

Dado que la gravedad es una de las principales causas de una elevada carga de trabajo físico, compensar los efectos de las fuerzas gravitatorias mediante un exoesqueleto tiene particular relevancia.

La compensación de la gravedad se explica utilizando el exoesqueleto OmniSuit, que proporciona apoyo tanto para la espalda como para los hombros. El módulo de apoyo para la espalda del exoesqueleto OmniSuit empieza a funcionar cuando el usuario se inclina hacia delante y la gravedad empieza a tirar de la parte superior del cuerpo hacia abajo. Sin el apoyo del exoesqueleto, los músculos de la espalda y la cadera compensan esta atracción gravitatoria contrayéndose. Cuando se lleva puesto el OmniSuit, los muelles elásticos de la espalda se estiran automáticamente cuando la parte superior del cuerpo se inclina hacia delante, absorbiendo parte de esta carga y aliviando así los músculos humanos.

Otro ejemplo es el módulo de apoyo del hombro del exoesqueleto OmniSuit. Sujeta el hombro de forma progresiva cuando se levanta el brazo. La disposición de los muelles en la articulación del hombro está diseñada para proporcionar el máximo apoyo cuando el brazo alcanza una posición horizontal, es decir, cuando está "expuesto" a la máxima carga por la gravedad.

Un detalle importante aquí es que ambos módulos de apoyo del exoesqueleto sólo proporcionan compensación gravitatoria cuando la gravedad impone una carga sobre las articulaciones correspondientes debido a un brazo de palanca. Así, en nuestros ejemplos, el módulo de soporte de la espalda no tira cuando el usuario está de pie recto, y el módulo de soporte de los hombros no empuja hacia arriba cuando los brazos cuelgan verticalmente a los lados del cuerpo. Sólo cuando el usuario se inclina hacia delante o levanta los brazos, los exoesqueletos empiezan a sostenerlos.

Normalmente, un exoesqueleto no compensará completamente la gravedad. Sin embargo sí compensará un cierto porcentaje (normalmente entre el 20% y el 50%) de la carga gravitatoria sobre el cuerpo y, por lo tanto, hará que cada repetición o cada segundo que trabaje sea más fácil. Esta compensación parcial también significa que los músculos humanos no necesitan tensar los muelles de un exoesqueleto pasivo: lo hace la gravedad.

La compensación de la gravedad, en combinación con el hecho de que los músculos humanos requieren una energía constante al mantener una fuerza, son los principios primarios del apoyo del exoesqueleto durante tareas estáticas, como la inclinación prolongada hacia delante o el trabajo por encima de la cabeza.

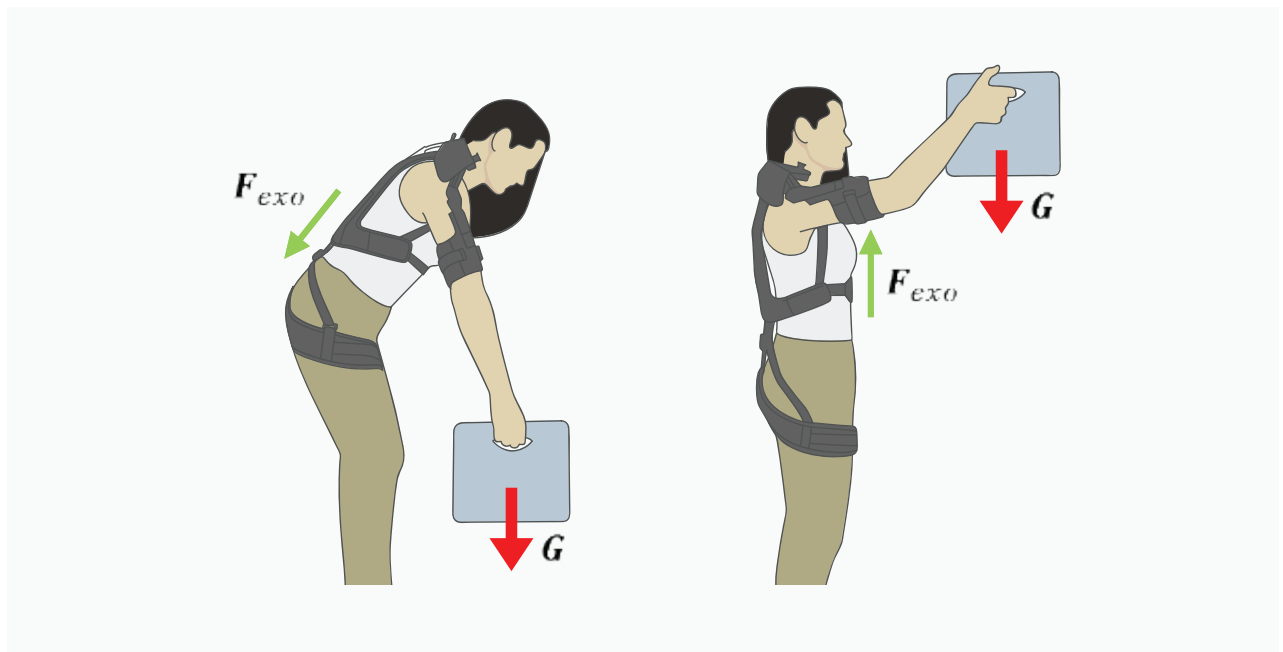


Ilustración del concepto de compensación de la gravedad con el Auxivo OmniSuit

◀ Izquierda: Cuando el usuario empieza a inclinarse hacia delante o sostiene una carga delante del cuerpo, la gravedad empezará a tirar de la parte superior del cuerpo hacia abajo. Cuando se lleva puesto el OmniSuit, al inclinarse hacia delante automáticamente también empiezan a estirarse los muelles de la parte posterior del exoesqueleto. La fuerza resultante del muelle tira del usuario hacia atrás y compensa parte de la fuerza gravitatoria que tira hacia delante. ▶ Derecha: Se ilustra el soporte para hombros del OmniSuit. Cuando el usuario empiece a levantar un brazo, sentirá que la gravedad tira de él hacia abajo. Al llevar el OmniSuit, el exoesqueleto sujetará progresivamente el hombro cuanto más se levante el brazo, compensando la fuerza gravitatoria hacia abajo empujando el brazo hacia arriba.

Sección 2

Cómo ayudan los exoesqueletos al usuario

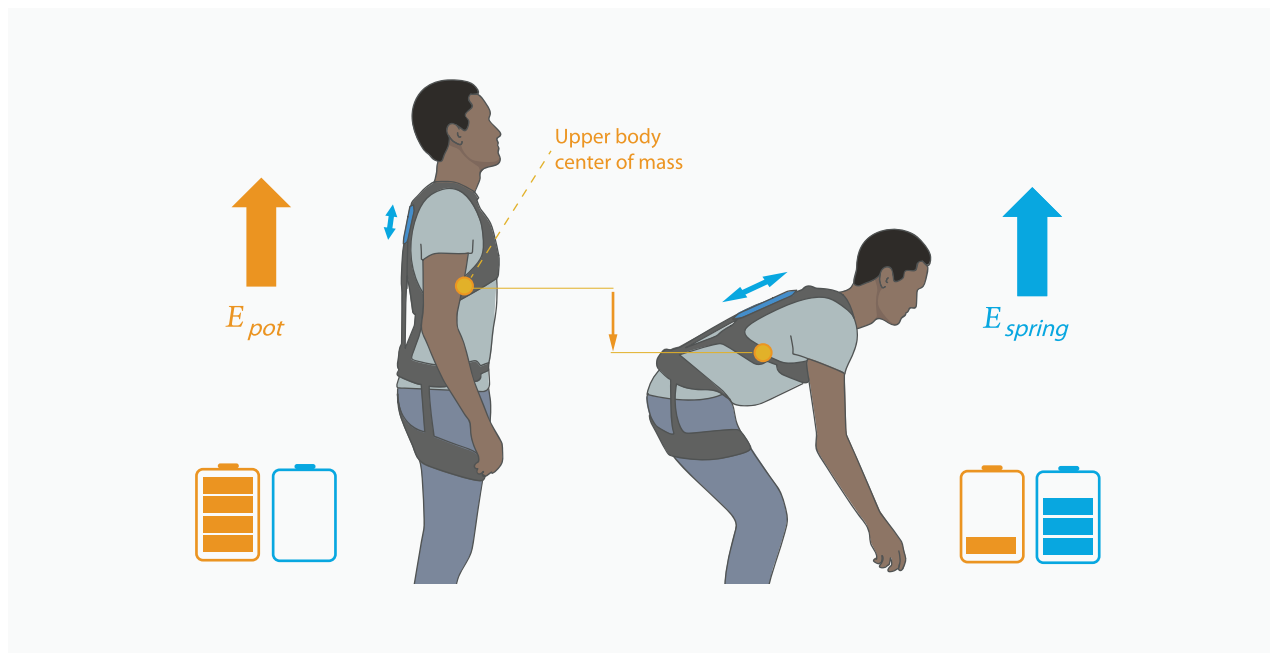


Ilustración del concepto de almacenamiento y recuperación de energía.

Cuando el ser humano está de pie en posición erguida, la masa de la parte superior del cuerpo almacena energía potencial, mientras que no se almacena energía en los muelles del exoesqueleto de soporte para la espalda LiftSuit. Cuando el usuario se inclina hacia adelante, bajando el centro de masa de la parte superior del cuerpo, la energía potencial se libera y se transfiere a los muelles del exoesqueleto, donde se almacena. Cuando el usuario vuelve a la posición erguida, la energía se convierte de nuevo en energía potencial, soportando así el movimiento.

Recuperación de energía: hacer el trabajo una sola vez

Un concepto muy importante de los exoesqueletos pasivos basados en muelles es la recuperación de energía. Una pregunta frecuente es de dónde procede la energía necesaria para tensar los muelles. La respuesta es: la energía ya está ahí, almacenada en su cuerpo cuando está de pie. Para explicar esto, necesitamos introducir algo de física: Todo objeto con masa en un campo gravitatorio tiene almacenada la llamada energía potencial. La cantidad de energía almacenada en este objeto es $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$, es decir que la energía potencial es igual a la masa m del objeto multiplicada por su altura h multiplicada por la aceleración gravitatoria de la Tierra g . Esta energía potencial cambia si aumentamos la altura (se requiere energía adicional para elevar un cuerpo) o disminuimos la altura (se libera energía) del objeto.

Para un exoesqueleto de sustentación como el Auxivo LiftSuit, la energía de la que hablamos es la energía potencial de la masa de la parte superior del cuerpo humano. Si una persona se mantiene erguida, la parte superior del cuerpo se encuentra en el punto más alto, y la masa de la parte superior del cuerpo lleva energía potencial en ella. Cuando la persona se inclina hacia adelante, lo que desplaza el centro de masa hacia abajo, se libera energía potencial, y la mayor parte se pierde por disipación de energía. Cuando queremos volver a subir, los músculos deben invertir energía adicional para restablecer la energía potencial.

Los muelles mecánicos situados en la espalda del usuario se estiran al inclinarse hacia adelante. Al menos una parte de la energía potencial liberada por el cuerpo se transfiere al muelle y permanece almacenada en el sistema en lugar de disiparse y perderse. La energía de un muelle se expresa mediante la siguiente ecuación: $E_{spring} = 1/2 \cdot k \cdot x^2$, siendo k la rigidez del muelle y x el desplazamiento del muelle desde su posición de equilibrio. Cuando el usuario vuelve a la posición erguida, la energía mecánica almacenada en el muelle se convierte de nuevo en energía potencial de la parte superior del cuerpo. Este proceso se repite con cada levantamiento, y la energía almacenada se transfiere de un lado a otro entre el cuerpo humano y el exoesqueleto.

Por supuesto, el muelle no puede almacenar toda la energía potencial de la parte superior del cuerpo humano, y el proceso tampoco es 100% eficiente, principalmente debido a las pérdidas por rozamiento. De lo contrario, recuperaríamos toda la energía durante cada elevación en un balance energético de suma cero, y podríamos hacerlo básicamente para siempre. Sin embargo, aunque sólo se almacene y recupere un cierto porcentaje de la energía potencial después de cada levantamiento, este proceso reduce significativamente la carga de trabajo y por tanto el agotamiento muscular. El principio de recuperación de energía es la razón por la que los exoesqueletos basados en muelles son tan eficientes energéticamente y pueden proporcionar un buen nivel de apoyo a la vez que son pequeños, ligeros y rentables.

Sección 3

Conceptos erróneos comunes

En esta última sección, queremos abordar algunos conceptos erróneos comunes que escuchamos con frecuencia y que suelen ser fuente de confusión. Si ha leído las secciones anteriores, podrá identificar rápidamente los supuestos erróneos en los que se basan estas ideas equivocadas.

Primera idea errónea: “Sólo los exoesqueletos activos proporcionan un apoyo real porque los sistemas pasivos requieren que usted invierta energía primero.

El principal error es pensar que con un exoesqueleto pasivo, sus músculos deben proporcionar la fuerza para tensar los muelles del exoesqueleto. Por lo tanto, usted debe proporcionar primero la energía que le sirve de apoyo después. En consecuencia, no se trata de un apoyo “real”, ya que primero debe realizar todo el trabajo usted mismo. Los sistemas activos, por otro lado, proporcionan fuerza y energía adicionales... lógicamente sólo los sistemas activos puedan apoyarle.

Esta cadena de pensamientos es errónea pues se basa en varios supuestos equivocados que pueden resolverse rápidamente al aplicar los conceptos de compensación de la gravedad, recuperación de la energía y las diferencias entre la mecánica de ingeniería y la biomecánica.

La primera suposición errónea aquí se refiere a las fuerzas.

Se supone que los músculos humanos necesitan tensar activamente los muelles del exoesqueleto pasivo. Como sabemos, mientras los muelles pasivos sólo compensen la carga gravitatoria de su cuerpo, usted no necesitará invertir ninguna fuerza adicional para pretensar el muelle, ¡porque la gravedad lo hace por usted! Cuando están correctamente diseñados, el soporte del muelle nunca compensará en exceso el peso de su cuerpo en ninguna posición, y usted nunca tendrá que utilizar sus músculos para tensar el muelle.

La segunda suposición errónea se refiere al balance energético.

Supone que, con un sistema pasivo, siempre hay que invertir energía y, si hay suerte, sólo se recupera una parte. Como resultado, se trata, en el mejor de los casos, de un balance energético de suma cero, lo que significa que no existe una ayuda real ni una reducción de la carga.

Un aspecto de este concepto energético erróneo es que un balance energético de suma cero es algo malo e ineficiente. En realidad, un balance energético de suma cero sería un resultado fabuloso. Significaría que podríamos hacer interminables sentadillas con el peso del cuerpo sin sudar porque, durante cada repetición, recuperamos toda nuestra energía a través de la recuperación energética.

La realidad de levantar peso e inclinarse hacia delante es menos optimista en términos de balance energético. Nuestro cuerpo quema energía cada segundo que permanecemos en posición inclinada hacia delante. Cada vez que nos ponemos en cuclillas, la energía potencial de nuestro cuerpo se disipa casi por completo y es necesario volver a acumularla utilizando la fuerza muscular. Por ello, un exoesqueleto pasivo basado en muelles que utilice la recuperación de energía para restablecer incluso un pequeño porcentaje durante cada levantamiento puede marcar una diferencia significativa. Es cierto que estos exoesqueletos no añaden energía adicional al sistema. Aun así, evita que perdamos totalmente y malgastemos energía durante el trabajo, lo que constituye una forma mucho más eficaz de proporcionar apoyo.

Otro aspecto de esta suposición energética errónea es que se ignoran las diferencias entre un sistema mecánico y biomecánico. El ser humano puede ahorrar mucha más energía que la almacenada en el muelle mecánico simplemente porque, como se ha comentado anteriormente, una fuerza de apoyo permanente de un muelle mecánico pretensado ahorrará al usuario humano energía adicional cada segundo debido al metabolismo muscular humano.

Sección 3

CommonConceptos erróneos comunes

Segunda idea falsa: « Los exoesqueletos reducen la carga de una parte del cuerpo transfiriéndola a otra y aumentándola allí, lo que en realidad es peligroso.

En primer lugar, reconozcamos que algunas partes de esta afirmación no son categóricamente incorrectas. Como ya se ha comentado, los exoesqueletos pueden utilizar la redistribución de la carga de diferentes maneras. Pero cuando se afirma como se ha citado anteriormente, implica que la redistribución de la carga siempre es necesaria y conduce a un aumento de la tensión en las partes del cuerpo que antes no estaban bajo carga. También implica que la redistribución de la carga de una parte a otra es algo intrínsecamente malo y poco saludable, que es la idea errónea que queremos abordar:

En primer lugar, la tensión local puede reducirse sin aumentar la tensión en otros lugares.

Utilizando el concepto anteriormente descrito de derivación de la carga, es posible reducir la tensión en el cuerpo humano y en partes individuales del cuerpo sin aumentarla necesariamente en otras partes. El exoesqueleto externo simplemente proporciona una vía de carga alternativa hacia el suelo, donde, finalmente, llegará toda la carga inducida por la gravedad sobre el cuerpo. Entonces, ¿por qué no omitir las partes del cuerpo que corren el riesgo de sobrecargarse?

En segundo lugar, repartir la carga en una región corporal más amplia puede ser útil.

La redistribución de la carga, dirigida conscientemente a otras partes del cuerpo, es un enfoque que puede utilizarse intencionadamente. Y sí, esto significa que la carga en algunas partes del cuerpo aumenta, pero si se utiliza correctamente, la distribución de la carga no es, por si misma, algo malo o perjudicial. La misma carga puede repartirse de forma más equitativa en una parte mayor del cuerpo. La redistribución de la carga también puede significar un mejor equilibrio de la carga, por lo que puede, por ejemplo, distribuir una carga asimétrica de forma más uniforme entre los lados izquierdo y derecho del cuerpo. Una carga de 120% y 50% de capacidad máxima en los lados izquierdo y derecho del cuerpo será más insalubre que una división de 90% - 80%.

Resumen y palabras finales

Esperamos que haya disfrutado leyendo este Libro Blanco y que le haya ayudado a comprender qué conceptos de apoyo se utilizan en los modernos exoesqueletos ocupacionales.

Probablemente se hizo evidente que hay muchos conceptos entre los que se puede elegir a la hora de diseñar, seleccionar y adoptar un exoesqueleto, y una buena comprensión de los principios mecánicos y biomecánicos es esencial para garantizar que el diseño resultante proporcione el mejor rendimiento posible y los máximos beneficios a sus usuarios.

La mayoría de los principios discutidos pueden ser utilizados por todos los tipos de exoesqueletos y son, en cierto sentido, universales. Por lo tanto, no importa si tiene un exoesqueleto activo o pasivo, rígido o blando, todos ellos, de una forma u otra, utilizarán algunos de los conceptos descritos anteriormente.

Esta es también la razón por la que ninguna de estas categorías de exoesqueletos es, por sí misma, mejor o peor que las demás. Todos se basan en las mismas ideas básicas, sólo que las aplican utilizando tecnologías y diseños diferentes.

Si desea saber más sobre los exoesqueletos, le animamos a que visite nuestra página web. Allí podrá explorar nuestra oferta de exoesqueletos ocupacionales para diversos sectores. Si le interesa saber más sobre la tecnología de los exoesqueletos, nuestros exoesqueletos educativos de la serie EduExo pueden ayudarle a aprender a diseñar y construir su propio exoesqueleto.

Sobre los autores



Volker Bartenbach

Volker es cofundador y consejero delegado de Auxivo. Con un doctorado en robótica de exoesqueletos y más de 12 años de experiencia en el desarrollo, la investigación y la comercialización de exoesqueletos, su objetivo es desarrollar exoesqueletos de alto rendimiento y hacerlos accesibles a más personas.



Rachel van Sluijs

Rachel es Directora de Investigación en Auxivo. Con un doctorado en Neurociencias y un máster en Ciencias del Movimiento, su trabajo tiene como objetivo comprender y optimizar la interacción entre los exoesqueletos vestibles y el usuario, asegurándose de que el cuerpo humano pueda aprovechar al máximo el apoyo del exoesqueleto.



Roger Gassert

Roger es cofundador y asesor científico de Auxivo. También es Profesor Titular de Ingeniería de Rehabilitación en la ETH de Zúrich. Su investigación se centra en el desarrollo y la validación clínica de tecnologías de rehabilitación portátiles y ponibles, como los exoesqueletos.

Acerca de Auxivo

Auxivo AG es una empresa líder en el desarrollo y la fabricación de exoesqueletos, fundada en 2019 como spin-off de la ETH de Zúrich. La misión de la empresa es mejorar la seguridad y el bienestar de los trabajadores proporcionando soluciones innovadoras y accesibles que reduzcan la carga de trabajo físico y el riesgo de lesiones. La cartera de exoesqueletos de la empresa, en rápido crecimiento, ofrece soluciones prácticas para sectores como la logística, la fabricación, la construcción o la atención sanitaria.

Derechos de autor

Enero 2024 © Auxivo AG

El contenido de este documento están protegidos por derechos de autor. Todos los derechos reservados.

Auxivo®, LiftSuit®, CarrySuit®, DeltaSuit®, OmniSuit® son marcas registradas propiedad de Auxivo AG.

Cambios técnicos, errores y omisiones sin previo aviso.

Auxivo AG
Sonnenbergstrasse 74
8603 Schwerzenbach
Switzerland

info@auxivo.com
+41 77 250 35 31

auxivo.com

AUXIVO