

Hvordan exoskeletter giver støtte



Introduktion

Velkommen til Auxivo's hvidbog om exoskeletter. Dette papir diskuterer de vigtigste mekaniske og biomekaniske principper for, hvordan bærbare exoskeletter fungerer, og hvordan de understøtter deres brugere.

Bærbare exoskeletter er enheder, der bæres af mennesker for at yde fysisk støtte. De bruges i dag i medicinske applikationer, f.eks. til at hjælpe brugere med bevægelsehandicap, og i arbejdsmiljøer, hvor de støtter arbejdere ved at reducere arbejdsbyrden for at forhindre udmattelse og skader forårsaget af overbelastning.

Vores mål med denne hvidbog er at give læseren den information, der er nødvendig for at forstå interaktion mellem menneske og exoskelet, og hvordan exoskeletter kan reducere fysisk belastning af den menneskelige krop. Den behandler almindelige begreber for exoskeletstøtte på et konceptuelt niveau for at give et godt overblik og tilføjer kun tekniske eller videnskabelige detaljer, hvor det er nødvendigt for forståelsen.

Som en potentiel exoskeletbruger sigter vi efter at give dig den information, der er nødvendig for at forstå mulighederne og begrænsningerne af exoskeletter og træffe en informeret, faktabaseret beslutning, om exoskeletter er det rigtige valg for dig.

Papiret er inddelt i tre sektioner:

- Afsnit I introducerer de vigtigste ingeniørmekaniske og biomekaniske principper, der kræves for at forstå, hvordan exoskeletter yder støtte.
- Afsnit II diskuterer mekanismerne og koncepterne for, hvordan bærbare exoskeletter understøtter deres brugere.
- Afsnit III behandler nogle af de mest almindelige misforståelser om exoskeletstøtte og bygger videre på informationen og begreberne introduceret i afsnit I og II.

Vi håber du nyder læsningen! Kontakt os venligst, hvis du har yderligere spørgsmål.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57
5500 Middelfart
CVR – 42541575
VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
+45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>

Afsnit I - Vigtige (bio)mekaniske principper

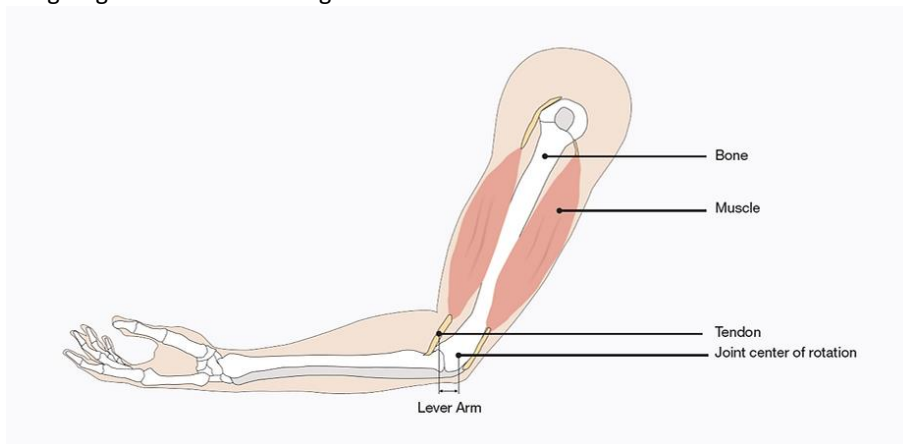
Før vi diskuterer, hvordan exoskeletter yder støtte, skal vi introducere nogle vigtige mekaniske og biomekaniske principper. Dette vil hjælpe med at forstå, hvordan fysisk arbejde forårsager belastning af den menneskelige krop, og hvordan et mekanisk system kan hjælpe med at reducere denne belastning.

Når du først har forstået disse grundlæggende principper, vil det være let at forstå eksoskeletstøttemekanismer, da de er afhængige af disse principper.

Det menneskelige muskel- og skeletsystem

Lad os først hurtigt opsummere, hvordan den menneskelige krop kan flytte, holde og løfte genstande ved at se på det menneskelige bevægeapparat.

Knoglerne i vores (endo)skelet er forbundet med led, der tillader bevægelse. Muskler forbinder de forskellige knogler på tværs af et eller flere led gennem sener. Når musklerne trækker sig sammen, skaber de en trækraft på knoglerne. Der er en vis afstand mellem muskelfæstet og leddets rotationscenter, som vi kalder vægtstangsarmen. På grund af denne vægtstangsarm resulterer muskelkraften i en rotationskraft (også kaldet moment) på ledniveauet, som får knoglerne til at bevæge sig i en rotationsbevægelse rundt om leddet.



Hvis en ekstern belastning (eller vægten af den menneskelige krop selv) påvirker et led med et drejningsmoment, skal de tilsvarende muskler trække sig sammen for at generere et modmoment omkring dette led. Dette gør det muligt for mennesket at holde eller flytte en ekstern belastning gennem muskelkraft. Menneskelige muskler kan kun generere en trækraft. De kan ikke skubbe mod en knogle. For at generere bevægelse i to retninger har man (mindst) to muskler per led, som kan modvirke hinandens kraft. Vi kalder et sæt af modvirkende muskler agonist og antagonist.

Aktiverer man både agonist- og antagonistmusklerne i et led på samme tid, bliver leddet meget stift. På denne måde kan du forhindre den i at bevæge sig og skabe stabilitet. Dette kaldes co-kontraktion. Co-kontraktion kan også bruges til at stabilisere en række led, såsom rygsøjlen. For eksempel i hverdagen samarbejder ryg- og mavemusklernes for at generere og holde en oprejst holdning.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57
5500 Middelfart
CVR – 42541575
VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
+45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>

Håndtagsarme – hvorfor den samme belastning kan forårsage forskellige belastninger på vores krop

Hvor meget kraft de menneskelige muskler skal generere, når de håndterer en ekstern belastning, afhænger af flere faktorer. Et aspekt er den absolutte masse af den eksterne belastning. Der er selvfølgelig forskel på om du holder 5 kg eller 20 kg. Men der er lidt mere i dette, som er vigtigt at forstå.

Hvordan du holder og håndterer massen, kan have en betydelig indflydelse på den belastning, den forårsager på din krop, mere end selve belastningens masse. Lad os forestille os (eller prøve) at holde en pose med 10 kg. Hvis du bærer tasken på siden af din krop, kan du holde den uden stor indsats i lang tid. Men i det øjeblik du løfter den foran din krop, mærker du øjeblikkeligt belastningen i din skulder øges og kæmper hurtigt for at holde den i denne position.



Virningen af vægtstangsarmen (dvs. den vandrette afstand mellem det menneskelige led og den ydre kraft) er illustreret. Til venstre: Personen bærer en taske på siden af kroppen. Tasken er mere eller mindre justeret lodret med skulderleddet. Som følge heraf inducerer taskens vægt kun et lille moment i skulderleddet, som skal modvirkes af skuldermusklerne. Til højre: personen holder en taske foran kroppen. Dette resulterer i en betydelig vandret afstand (håndtagsarm) mellem taskens massemidtpunkt og skulderleddets rotationsakse, hvilket resulterer i et højere moment, som skuldermusklerne skal kompensere for.

Årsagen til denne effekt er, at det ofte ikke er kraften, der er det kritiske aspekt, der udøver den primære belastning på din krop, men snarere det drejningsmoment, som denne kraft skaber på dine led. Dette drejningsmoment er kraften ganget med den vandrette afstand mellem kraften og leddets rotationscenter (håndtagsarm): $T = F \cdot L$, hvor T er drejningsmoment, F er kraft, og L er vægtstangsarmen.

Som følge heraf kan en forøgelse af vægtstangsarmen vandret ved at holde en belastning foran dig eller læne kroppen fremad hurtigt øge ledmomentet betydeligt, hvilket så kan forårsage overbelastning i de berørte led.

Tyngdekraft og masse af den menneskelige krop

Direkte relateret til det foregående afsnit er det værd at fremhæve den dominerende rolle, som tyngdekraften og den menneskelige krops masse spiller, når vi taler om arbejdsbelastning eller belastning. Mens andre aspekter er på spil, som dynamisk kraft forårsaget af accelerationer og bevægelser, er tyngdekraften vores hovedfjende med hensyn til fysisk arbejdsbelastning. Det trækker permanent alt nedad, inklusive enhver belastning, vi håndterer, og alle vores kropsdele. Vores muskler skal arbejde kontinuerligt for at modvirke denne nedadgående tyngdekraft.

Det er vigtigt at overveje, at løftestangsprincippet beskrevet ovenfor også gælder for massen og massecentret af vores kropssegmenter. Således afhænger belastningen af vores individuelle led og muskler stærkt af vores kropsholdning. Når vi står lige, er belastningen af vores muskler relativt lille. Men når vi først læner vores overkrop frem eller løfter vores arme, øger vi ledbelastningerne betydeligt, og musklerne i ryggen eller skulderen skal arbejde hårdt, som illustreret nedenfor.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57

5500 Middelfart

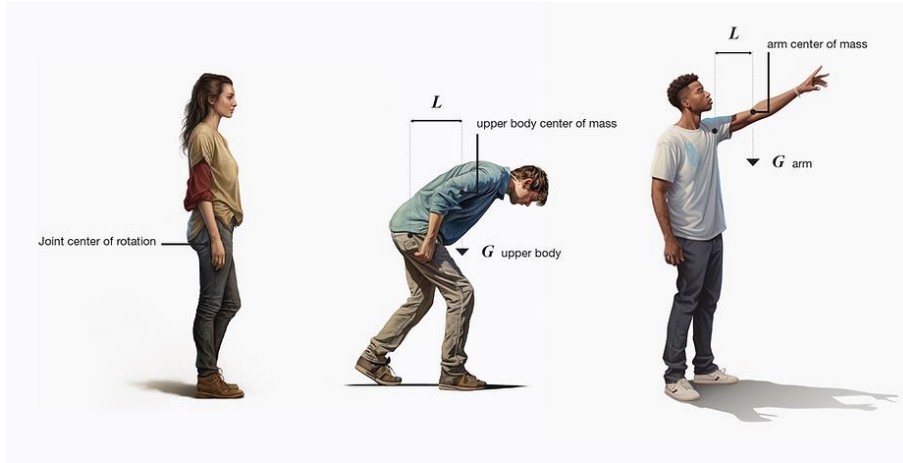
CVR – 42541575

VAT: DK42541575

info@exoskeleton.dk

+45 4021 9521

https://exoskeleton.dk



Påvirkningen af kropsmasse og kropsholdning i tyngdefeltet på ledbelastningen: Venstre: Med kroppen i oprejst stilling og armene hængende lodret på siden er belastningen på skulder, ryg og hofter relativt lille. Midten: Med overkroppen i en mere fremadlænet stilling øges belastningen af ryg og hofter. Højre: Med armen rettet fremad, har armens masse midtpunkt en vandret afstand til skulderleddet, hvilket resulterer i et betydeligt vægtstangs- og skuldermoment.

Meget ofte er belastningen forårsaget af ens egen kropsmasse den vigtigste bidrager til den samlede arbejdsbyrde. For at forstå dette kan vi se på vores fremadrettede eksempel ovenfor. Omkring 60 % af den menneskelige kropsvægt er typisk placeret i hovedet, armene og overkroppen. Så ryg- og hoftemusklene på en person på 80 kg, der blot læner sig fremad, skal allerede stabilisere sig omkring 50 kg belastning. Det betyder, at belastningen af kroppen forårsaget af dens egen vægt ofte er højere end den ekstra belastning, der opstår ved at løfte en 10 kg eller 15 kg genstand. Derfor kan brug af et eksoskelet til at kompensere for kropsvægten reducere belastningen betydeligt.

Vigtige forskelle mellem ingeniørmekanik og biomekanik

Den menneskelige krop er ikke en maskine. Og selvom dette kan lyde ret indlysende, er det vigtigt at forstå, hvad dette betyder på et mekanisk og biomekanisk niveau. Mens mange principper inden for ingeniørmekanik (håndtering af kræfter og bevægelser i maskiner) og biomekanik (håndtering af kræfter og bevægelser i den menneskelige krop) er ens, er der forskelle. Når man diskuterer eksoskeletter, er en vigtig forskel, hvordan menneskelige muskler og mekaniske fjedre skaber kraft.

En muskel under spænding er meget forskellig fra en mekanisk fjeder under spænding fra et energisk perspektiv. At strække en mekanisk fjeder kræver energi. Denne energi frigives, når fjederen er afløst. Mens den strækkes, skaber den mekaniske fjeder permanent en kraft uden yderligere energi. Denne kraft kan bruges til at understøtte en belastning mod tyngdekraften.



EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57
5500 Middelfart
CVR – 42541575
VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
+45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>

Det er vigtigt at forstå, at mekaniske fjedre og menneskelige muskler genererer kraft forskelligt. En forspændt mekanisk fjeder kræver ikke energi for at generere en konstant kraft og kan understøtte en belastning på ubestemt tid. I modsætning hertil vil de menneskelige muskler have brug for en konstant energiforsyning og vil hurtigt blive trætt.

På den anden side genererer menneskelige muskler kraft gennem sammentrækning ved hjælp af proteiner, der omdanner kemisk energi til mekanisk energi. Proteinerne i musklen kan glide ind i hinanden, hvilket gør muskelfibrene kortere, hvilket resulterer i en trækraft. Mens den er aktiv, kræver musklen permanent energi leveret af cellulære metaboliske processer. Dette kan føre til udtømmning af energireserver, neuromuskulær træthed og andre metaboliske og neuromuskulære effekter, der kræver energi og begrænser musklens evne til at trække sig sammen.

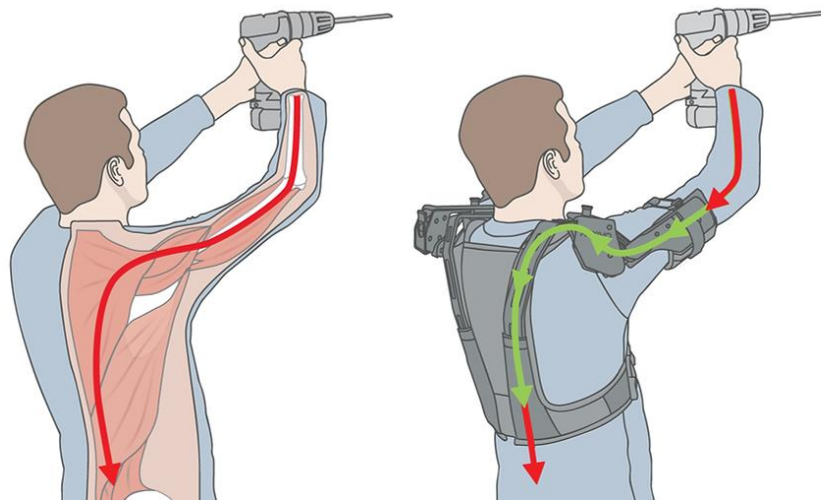
Sammenfattende kan en mekanisk fjeder, når den er forlænget, skabe en permanent kraft uden yderligere energi. I modsætning hertil kræver en menneskelig muskel en konstant energiforsyning for at forblive sammentrukket, hvilket fører til træthed og udmattelse.

Afsnit II - Hvordan exoskeletons understøtter deres brugere

Nu hvor vi har dækket de vigtigste (bio)mekaniske grundelementer, lad os undersøge, hvordan eksoskeletter kan understøtte deres brugere. De fleste eksoskeletter kombinerer flere af følgende principper, men vi vil diskutere hver enkelt separat for at gøre det lettere at forstå.

Bypass-princippet

Dette er en forholdsvis enkel, men effektiv tilgang. Mange eksoskeletter omgår mekanisk belastningen omkring et eller flere menneskelige led. Så for de kropsdele, der er dækket af exoskeletet, overfører det belastningen (eller en del af det) fra din krop til exoskeletet, og belastningen ledes derefter gennem exoskeletet og omgår dit bevægeapparat. Ved det nederste fastgørelsespunkt af eksoskelettet overføres belastningen tilbage til kroppen, hvor den overføres til jorden, svarende til belastningsvejen uden exoskeletet.



Bypass-princippet er illustreret med Auxivo DeltaSuit: Den røde pil angiver belastningsvejen gennem kroppen og den grønne gennem exoskeletet. Overførsel af belastningen til exoskelettet kan reducere belastningen af muskler, sener og led langs den omgæede sektion.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57
5500 Middelfart
CVR – 42541575
VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
+45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>

For eksempel, når du holder en masse på 5 kg i hånden, kanaliseres denne belastning gennem dit håndled, albue og skulder, ned ad din rygsøjle, gennem hoften ind i dine ben, knæ, ankler og til sidst ned i jorden. Undervejs belaster det alle disse kropsdele. Når du bruger et skulderekso skelet, som Auxivo DeltaSuit, overføres en betydelig del af belastningen direkte fra din overarm til din torso, og omgår det forholdsvis sårbare skulderled.

Princippet om belastningsomfordeling

Når en ekstern belastning påvirker din krop lokalt eller asymmetrisk, fx når du bærer noget tungt med én hånd, vil det typisk kun forårsage størstedelen af belastningen på en lille del af din krop. Dette sker, fordi lasten vil blive dirigeret langs den mest direkte vej gennem din krop til jorden. Det betyder også, at du har stor risiko for lokal overbelastning i specifikke led, mens resten af din krop knap nok bliver påvirket af belastningen.

Dette er noget, som eksoskeletterne kan ændre ved at omfordele belastningen og fordele den mere jævnt over større dele af kroppen og væk fra kropsdele med risiko for en lokal overbelastning. Et eksoskeleteksempel ved brug af belastningsfordeling er Auxivo CarrySuit, som består af en ramme rundt om overkroppen. Når en belastning er fastgjort til den, vil rammen automatisk fordele belastningen mere jævnt over brugerens krop og forbinder den med hoften og skulderen på begge sider.



Illustration af belastningsomfordelingskonceptet. Til venstre: byrden bæres i hænderne og påvirker kroppen derfra. Til højre: CarrySuiten fordeler belastningsfastgørelsen over hele overkroppen, hvilket reducerer lokal belastning. Anvendelse af dette princip betyder selvfølgelig, at eksoskelettet kan øge belastningen på andre dele af kroppen, såsom hoften, hvilket ude af sammenhæng kan lyde kontraproduktivt. Det betyder dog også, at belastningen er mere jævnt fordelt over din krop, så du undgår lokale spidsbelastninger, der ofte øger risikoen for skader.

Muskelstøtte med kunstige muskler

Idéen med kunstig muskelstøtte er enkel: passive eller aktive spændingssystemer på ydersiden af kroppen skaber en støttekraft svarende til den kraft, der skabes af de menneskelige muskler. Eksoskeletter, der bruger dette koncept, har "kunstige muskler", der er forbundet til kroppen, typisk ved hjælp af tekstile grænseflader, og er arrangeret til at skabe en trækraft parallelt med den menneskelige muskel nedenunder, og derved understøtte denne muskel. Disse kunstige muskler kan drives af en aktuator forbundet til et kabel eller realiseret gennem fjedre eller elastiske bånd, der strækker sig under bevægelse og skaber en mekanisk trækraft.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57
5500 Middelfart
CVR – 42541575
VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
+45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>

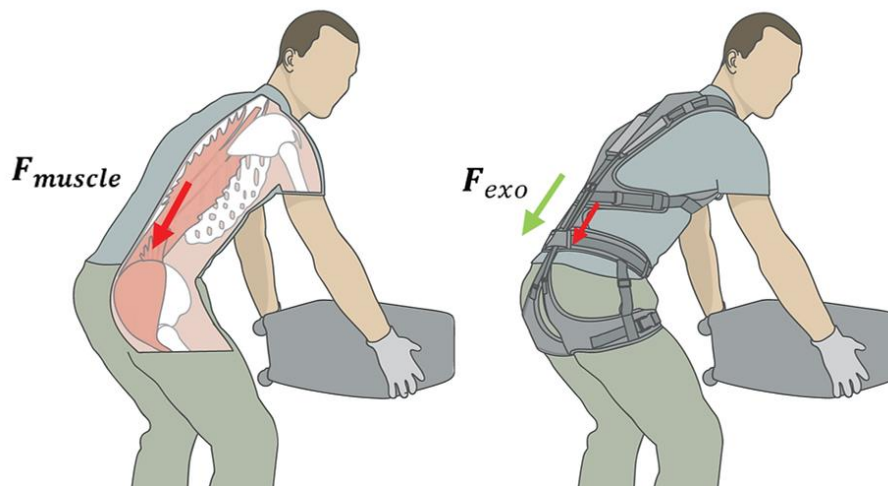


Illustration af hvordan Auxivo LiftSuits kunstige muskler understøtter brugerens rygmuskler. Når brugeren læner sig frem, skal rygmusklerne trække sig sammen og skabe en kraft til at holde kroppen i den fremadlænedede stilling. Med eksoskelettet på ydersiden skaber de "kunstige muskler" en kraft, der direkte støtter rygmusklerne nedenunder, og reducerer derved muskelbelastningen.

Dette koncept bliver ofte brugt af tekstile exoskeletter (også kaldet Exosuits), fordi det kan bruges uden en stiv ramme. I dette tilfælde er de kunstige muskler afhængige af det menneskelige (endo)skelet for stabilitet.

Hovedformålet med kunstige muskler er at reducere belastningen af brugerens muskler og sener. Hvis brugerens muskler arbejder mindre hårdt, bliver de mindre trætte. Når musklerne er trætte, bliver det sværere at koordinere dem. Gentagen belastning og træthed er risikofaktorer for udvikling af muskel- og skeletlidelser. Så hovedideen er at hjælpe menneskelige muskler med kunstige muskler og reducere muskeltræthed, udmattelse, risikoen for at skade muskler eller sener og den samlede arbejdsbyrde.

Ledstøtte med et moment

En anden mulighed for, hvordan exoskeletter kan støtte deres brugere, er ved at anvende et hjælpemoment omkring et specifikt led.

Eksoskeletter kan generere ledmoment på forskellige måder. Aktive exoskeletter er typisk afhængige af eldrevne aktuatorer, og passive exoskeletter er typisk afhængige af fjedre, der er arrangeret på en sådan måde, at de skaber drejningsmoment på ledniveau. I begge tilfælde kan de menneskelige muskler slappe af til en vis grad, da i det mindste en del af det nødvendige ledmoment, f.eks. til at løfte armen, leveres af eksoskelettet.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57
5500 Middelfart
CVR – 42541575
VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
+45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>

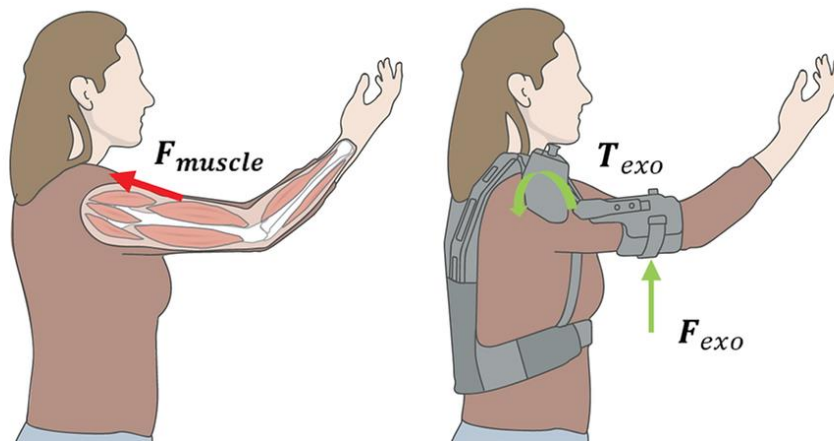


Illustration af eksoskeletstøtte på ledniveau. Venstre: Når brugeren løfter armen, trækker de tilsvarende muskler i skulderen sig sammen og skaber en trækraft, som så skaber et moment i skulderleddet, der løfter armen. Til højre: Med leddet understøttet af eksoskeletet, giver eksoskeletet et drejningsmoment ved leddet, der skaber en opadgående kraft ved overarmens grænseflade for at understøtte løft af armen.

En anden fordel ved denne metode er, at den kan reducere ledkompression og potentielt forhindre ledskader såsom slidgigt. Årsagen er, at ledstøtte også fører til en reduktion i muskelkraft svarende til kunstige muskler. Men i modsætning til en kunstig muskel, erstatter den ikke bare en trækraft med en anden. Det skaber et drejningsmoment omkring eksoskeletleddet og overfører derefter dette drejningsmoment gennem den stive ramme som en kraft vinkelret på kroppen. Denne mekaniske forskel kan resultere i en samlet reduceret kompressionskraft på leddet.

Det er vigtigt at bemærke, at naturlig ledkompression ikke er noget dårligt. Det er faktisk med til at stabilisere leddet under belastning. Men hvis der ofte påføres høje kræfter på et led, kan dette føre til overbelastningsskader og smerter forårsaget af skader på leddets ledbånd og brusk.

Tyngdekraftskompensation - udligning af tyngdekraftens belastninger

Da tyngdekraften er en af hovedårsagerne til en høj fysisk arbejdsbelastning, er det en fremtrædende tilgang at udligne virkningerne af gravitationskræfter ved hjælp af et eksoskelet.

Ideen med tyngdekraftskompensation er illustreret nedenfor ved hjælp af OmniSuit eksoskelettet, som giver både ryg- og skulderstøtte. Tyngdekraftskompensationen fra OmniSuit-eksoskeletets rygstøttemodul begynder at virke, når brugeren læner sig fremad, og tyngdekraften begynder at trække overkroppen nedad. Uden eksoskeletstøtte skal ryg- og hoftemusklene kompensere for tyngdekraften ved at trække overkroppen sammen og trække opad. Når man bærer OmniSuiten, strækkes elastiske fjedre på ryggen automatisk, når overkroppen bøjes fremad, og absorberer en del af denne belastning og aflaster dermed de menneskelige muskler.

Et andet eksempel er skulderstøttemodulet på OmniSuit eksoskelet. Mens den bæres, vil den automatisk støtte skulderen gradvist, når armen løftes. Skulderleddets fjederarrangement er konstrueret til at give maksimal støtte, når armen når en vandret position, når den er maksimalt "udsat" for tyngdekraften.

EXOSKELETTET ApS

Jernbanegade 57
 5500 Middelfart
 CVR – 42541575
 VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
 +45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>

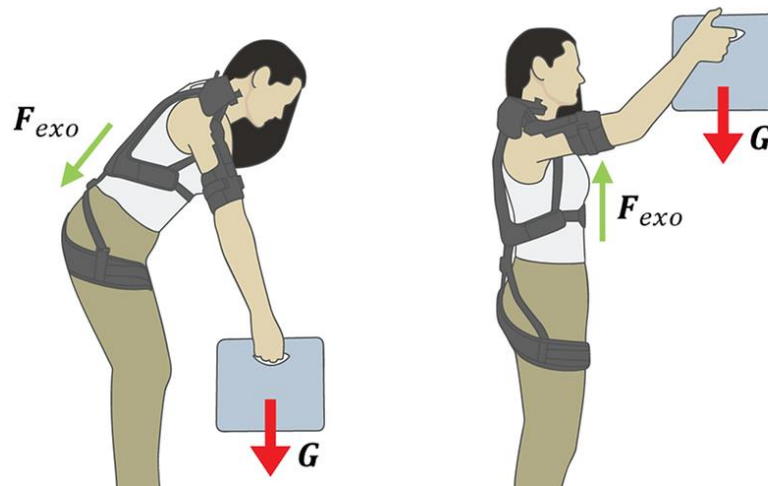


Illustration af tyngdekraftskompensationskonceptet med Auxivo OmniSuit. Venstre: Når brugeren begynder at læne sig frem eller holder en last foran kroppen, vil tyngdekraften begynde at trække overkroppen nedad. Når du bærer OmniSuit, begynder lænet fremad automatisk også at strække fjedrene på bagsiden af eksoskelettet. Den resulterende kraft fra fjederen trækker brugeren tilbage og udligner en del af den fremadgående tyngdekraft. Til højre: OmniSuit skulderstøtten er illustreret. Når brugeren begynder at løfte en arm, vil de mærke tyngdekraften trække den nedad. Når du bærer OmniSuiten, vil eksoskelettet gradvist støtte skulderen, jo højere armen løftes, og udligne tyngdekraften nedad ved at skubbe armen opad.

En vigtig detalje her er, at begge støttemoduler af eksoskelettet kun yder tyngdekraftskompensation, når tyngdekraften påfører de relevante led en belastning på grund af en løftearm. I vores eksempler trækker rygstøttemodul således ikke, når bæreren står lige, og skulderstøttemodul skubber ikke opad, når armene hænger lodret til kroppens side. Først når brugeren læner sig frem eller løfter armene, vil eksoskeletterne begynde at støtte dem.

Typisk vil et eksoskelet ikke fuldstændig kompensere for tyngdekraften. Det udligner en vis procentdel (typisk 20%-50%) af tyngdekraften på kroppen og vil derfor gøre hver gentagelse eller hvert sekund, du arbejder, lettere. Denne delvise kompensation betyder også, at de menneskelige muskler ikke behøver at spænde fjedrene i et passivt eksoskelet – det gør tyngdekraften.

Tyngdekraftskompensation, i kombination med det faktum, at menneskelige muskler kræver konstant energi, når de holder en kraft, forklaret i afsnit I, er de primære principper for eksoskeletonstøtte under statiske opgaver, såsom langvarig fremadlænet eller overliggende arbejde.

Energigenvinding - Gør kun arbejdet én gang

Et meget vigtigt koncept for passive, fjederbaserede eksoskeletoner er energigenvinding. Et ofte stillet spørgsmål er, hvor den nødvendige energi til at spænde fjedrene i et passivt eksoskelet kommer fra. Svaret er: energien er der allerede, lagret i din krop, når du står oprejst. Eller sagt anderledes: du opbyggede den potentielle energi i din krop om morgenen, når du stod ud af sengen. For at forklare dette skal vi hurtigt introducere noget fysik:

Hver genstand med en masse i et gravitationsfelt har lagret såkaldt potentiel energi. Mængden af energi, der er lagret i dette objekt, er $E_{pot}=m \cdot g \cdot h$, så objektets masse ***m*** ganget med ***dets højde h*** ganget med Jordens gravitationsacceleration ***g***. Denne potentielle energi ændres, hvis vi øger højden (kræver ekstra energi) eller mindsker højden (energi frigives) af objektet. For et løftstøttende eksoskelet som Auxivo LiftSuit er den energi, vi taler om, den potentielle energi af massen af den menneskelige overkrop.

EXOSKELETTET ApS

Jernbanegade 57
 5500 Middelfart
 CVR – 42541575
 VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
 +45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>

Hvis en person står oprejst, er overkroppen på det højeste punkt, og massen af overkroppen bærer potentiel energi i sig. Når personen læner sig fremad, hvilket flytter massecentret nedad, frigives potentiel energi, og det meste af det går tabt gennem energispredning. Når vi ønsker at gå op igen, skal vores muskler investere yderligere energi for at genoprette den potentielle energi.

Når vi placerer LiftSuiten med dens mekaniske fjedre på ryggen af personen, så strækkes denne fjeder, når man læner sig fremad, og i det mindste en del af den potentielle energi, der frigives af kroppen, overføres til fjederen og forbliver lagret i system i stedet for at blive spredt og tabt. En fjeders energi er udtrykt ved følgende ligning:

$E_{spring} = 1/2 * k * x^2$ hvor **k** er fjederens stivhed og **x** er fjederens forskydning fra dens ligevægtsposition. Når den menneskelige overkrop derefter bevæger sig tilbage til oprejst stilling, omdannes den lagrede mekaniske energi i fjederen tilbage til potentiel energi i overkroppen. Denne proces gentages for hvert løft, og den lagrede energi overføres og omdannes frem og tilbage mellem den menneskelige krop og eksoskelettet.

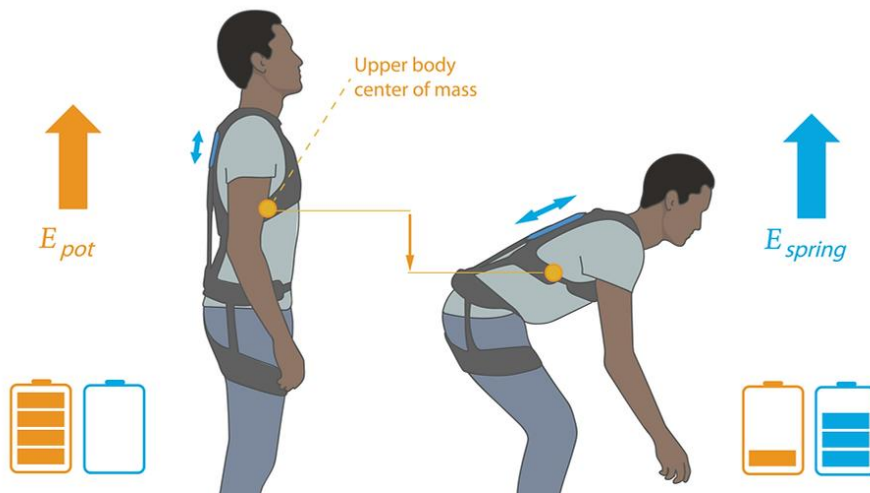


Illustration af energilagring- og rekursionskonceptet: Når mennesket står i oprejst stilling, lagrer overkroppens masse potentiel energi, mens der ikke er lagret energi i LiftSuits rygstøtteeksoskelets fjedre. Når brugeren læner sig fremad og sænker overkroppens massecenter, frigives den potentielle energi og overføres til fjedrene i eksoskelettet, hvor den opbevares. Når brugeren bevæger sig tilbage til en oprejst stilling, omdannes energien tilbage til potentiel energi, hvilket understøtter bevægelsen på denne måde.

Naturligvis kan fjederen typisk ikke lagre al den potentielle energi i den menneskelige overkrop, og processen er heller ikke 100 % effektiv, f.eks. på grund af friktion. Ellers ville vi genvinde al energien under hvert løft i en nulsum energibalance, og vi kunne stort set gøre det for evigt. Men selvom kun en vis procentdel af den potentielle energi lagres og genvindes efter hvert løft, reducerer denne proces arbejdsbyrden markant.

Energigenvindingsprincippet er grunden til, at fjederbaserede eksoskeletter er yderst energieffektive og kan give et godt niveau af støtte, mens de er små, lette og omkostningseffektive.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57
5500 Middelfart
CVR – 42541575
VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
+45 4021 9521
https://exoskeletter.dk

Afsnit III - Almindelige misforståelser

I dette sidste afsnit ønsker vi at adressere nogle almindelige misforståelser, som vi ofte hører, og som ofte er en kilde til forvirring. Hvis du har læst de foregående afsnit, vil du hurtigt kunne identificere de forkerte antagelser, som disse misforståelser bygger på.

Misforståelse 1: Kun aktive eksoskeletter giver reel støtte, fordi passive systemer kræver, at du investerer energi først.

Den største misforståelse er, at med et passivt eksoskelet skal dine muskler give kraften til at stramme eksoskeletets fjedre. Så du skal først give den energi, der støtter dig senere. Derfor er dette ikke "rigtig" støtte, da du stadig skal gøre alt arbejdet selv først. Aktive systemer giver på den anden side yderligere kraft og energi. Derfor er det logisk, at kun aktive systemer kan understøtte dig.

Denne misforståelse er afhængig af flere forkerte antagelser, som hurtigt kan løses, når man anvender begreberne tyngdekraftskompensation, energigenvinding og forskellene mellem ingeniørmekanik og biomekanik.

Den første forkerte antagelse her vedrører kræfterne. Det antages, at de menneskelige muskler aktivt har brug for at spænde fjedrene i det passive eksoskelet. Som vi ved, så længe de passive fjedre kun udligener tyngdekraften på din krop, behøver du ikke investere yderligere kraft for at forspænde fjederen, fordi tyngdekraften gør det for dig! Når den er designet godt, vil fjederstøtten aldrig overkompensere din kropsvægt i nogen stilling, og du behøver aldrig bruge dine muskler til at stramme fjederen.

Den anden forkerte antagelse vedrører energibalancen. Det forudsætter, at man med et passivt system altid skal investere energi og, hvis man er heldig, kun få noget af det tilbage. Som følge heraf er dette i bedste fald en nul-sum energibalance, hvilket betyder, at der ikke er nogen reel støtte eller belastningsreduktion. Et aspekt af denne energi misforståelse er, at en nul-sum energibalance er noget dårligt og ineffektivt. I virkeligheden ville en nulsum energibalance være et fantastisk resultat. Det ville betyde, at vi kunne lave endeløse kropsvægtssquats uden at svede, fordi vi under hver gentagelse får al vores energi tilbage gennem energigenvinding.

Virkeligheden med at løfte og læne sig fremad er meget værre. Vores krop forbrænder energi hvert sekund, vi forbliver i en fremadlænet stilling. Hver gang vi sætter os på hug, forsvinder den potentielle energi i vores krop næsten fuldstændigt og skal bygges op igen ved hjælp af muskelstyrke.

Som følge heraf kan et passivt fjederbaseret eksoskelet, der bruger energigenvinding til at genoprette selv en lille procentdel under hvert løft, gøre en væsentlig forskel. Det er rigtigt, at dette eksoskelet ikke tilføjer yderligere energi til systemet. Alligevel forhindrer det os i at miste og spilde energi under arbejdet, hvilket er en meget mere effektiv måde at yde støtte på.

Et andet aspekt af denne forkerte energiantagelse er, at forskellene mellem et mekanisk og biomekanisk system ignoreres. Mennesket kan spare meget mere energi, end der er lagret i den mekaniske fjeder, simpelthen fordi, som diskuteret ovenfor, en permanent støttekraft fra en forspændt mekanisk fjeder vil spare den menneskelige bruger for yderligere energi hvert sekund på grund af menneskets muskelstofskifte.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57

5500 Middelfart

CVR – 42541575

VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk

+45 4021 9521

<https://exoskeletter.dk>

Misforståelse to: Eksoskeletter reducerer belastningen af en kropsdel ved at overføre den til en anden og øge den der, hvilket faktisk er farligt.

Lad os først erkende, at dele af denne erklæring ikke er kategorisk ukorrekte. Som diskuteret ovenfor kan eksoskeletter udnytte belastningsomfordeling på forskellige måder. Men når det er anført som citeret ovenfor, indebærer det, at belastningsomfordeling altid er nødvendig og fører til øget belastning af kropsdele, der tidligere ikke var under belastning. Det indebærer også, at belastningsomfordeling fra en del til en anden er noget iboende dårligt og usundt, hvilket er den misforståelse, vi ønsker at adressere:

For det første kan lokal belastning reduceres uden at øge belastningen andre steder: Ved at udnytte det ovenfor beskrevne koncept med belastningsomgåelse er det muligt at reducere belastningen på den menneskelige krop og individuelle kropsdele uden nødvendigvis at øge den andre steder. Det ydre eksoskelet giver simpelthen en alternativ belastningsvej mod jorden, hvor til sidst al tyngdekraftinduceret belastning på kroppen vil ende. Så hvorfor ikke springe de dele af kroppen over, der er i risiko for overbelastning?

For det andet kan det være nyttigt at sprede en belastning over et større kropsområde: Belastningsomfordeling, som bevidst accepterer belastningsforøgelse i andre dele af kroppen, er en tilgang, der kan bruges bevidst. Og ja, det betyder, at belastningen i nogle kropsdele øges, men hvis den bruges korrekt, er belastningsfordelingen ikke som standard noget dårligt. Den samme belastning kan fordeles mere ligeligt over en større del af kroppen. Belastningsfordeling kan også betyde bedre belastningsbalancering, så den fx kan fordele en asymmetrisk belastning mere jævnt mellem venstre og højre side af kroppen. En belastning på 120% og 50% maksimal kapacitet på kroppens venstre og højre side vil være usundere end en 90% - 80% split.

Resumé og afsluttende ord

Vi håber, at du nød at læse denne hvidbog, og at den hjalp dig med at forstå, hvilke støttekoncepter der bruges i moderne erhvervseksoskeletter.

Det blev sandsynligvis tydeligt, at der er mange koncepter, man kan vælge imellem, når man designer et eksoskelet, og en god forståelse af mekaniske og biomekaniske principper er afgørende for at sikre, at det resulterende design giver den bedst mulige ydeevne og maksimale fordele for sine brugere.

De fleste af de diskuterede principper kan bruges af alle typer eksoskeletter og er på en måde universelle. Så uanset om du har et aktivt eller passivt, stift eller blødt eksoskelet, vil de alle på den ene eller anden måde bruge nogle af de begreber, der er beskrevet ovenfor.

Dette er også grunden til, at ingen af disse kategorier af eksoskeletter, som standard, er bedre eller værre end de andre. De er alle afhængige af de samme grundlæggende ideer, blot at implementere dem ved hjælp af forskellige teknologier.

Hvis du ønsker at lære mere om AUXIVO eksoskeletter, kan du læse mere om dem her:

AUXIVO LiftSuit: <https://exoskeletter.dk/typer/til-ryg/liftsuit>

AUXIVO CarrySuit: <https://exoskeletter.dk/typer/til-ryg/carrysuit>

AUXIVO DeltaSuit: <https://exoskeletter.dk/typer/til-skulder/deltasuit>

AUXIVO OmniSuit: <https://exoskeletter.dk/typer/kombi-exoskeletter/omnisuit>

Hvis du er interesseret i at lære mere om eksoskeletteknologi, kan EduExo-serien hjælpe dig med at lære at designe og bygge dit eget aktive eksoskelet. Disse er især udviklet til skoler og læreinstanser der underviser i (bio)mekanik.

AUXIVO EduExo: <https://exoskeletter.dk/typer/undervisning>

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57

5500 Middelfart

CVR – 42541575

VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk

+45 4021 9521

<https://exoskeletter.dk>

Om forfatterne



Volker Bartenbach er medstifter og administrerende direktør for Auxivo. Med en ph.d.-grad i exoskeletrobotik og mere end 12 års erfaring med at udvikle, forske og kommercialisere exoskeletter, er hans mål at udvikle højtydende exoskeletter og gøre dem tilgængelige for flere mennesker.



Rachel van Sluijs er forskningschef hos Auxivo. Med en ph.d. i neurovidenskab og en master i bevægelsesvidenskab, sigter hendes arbejde mod at forstå og optimere interaktionen mellem bærbare eksoskeletter og brugeren, hvilket sikrer, at den menneskelige krop kan drage fuld fordel af exoskeletstøtten.



Roger Gassert er medstifter og videnskabelig rådgiver hos Auxivo. Han er også fuld professor i rehabiliteringsteknik ved ETH Zürich. Hans forskning fokuserer på udvikling og klinisk validering af bærbare og bærbare rehabiliteringsteknologier såsom exoskeletter.

EXOSKELETTER ApS

Jernbanegade 57
5500 Middelfart
CVR – 42541575
VAT: DK42541575

info@exoskeletter.dk
+45 4021 9521
<https://exoskeletter.dk>