

# White Paper

## Miten ulkoiset tukirangat tarjoavat tukea

[auxivo.com](http://auxivo.com)



# Johdanto

WTervetuloa tutustumaan Auxivon White paper asiakirjaan ulkoisista tukirangoista. Tässä asiakirjassa käsitellään tärkeimpiä mekaanisia ja biomekaanisia periaatteita siitä, miten puettavat ulkoiset tukirangat toimivat ja miten ne tukevat käyttäjiään.

Ulkoiset tukirangat ovat laitteita, joita ihmiset käyttävät fyysisen tuen mahdollistamiseksi. Niitä käytetään nykyään lääketieteellisissä sovelluksissa, esimerkiksi avustamaan käyttäjiä, joilla on liikuntarajoitteita, ja työympäristöissä, joissa ne tukevat työntekijöitä vähentämällä työtaakkaa ja estämällä näin uupumusta ja ylikuormituksen aiheuttamia vammoja.

Tämän White paperin asiakirjan tavoitteena on antaa lukijalle tarvittavat tiedot ihmisen ja tukirangan vuorovaikutuksen ymmärtämiseksi ja sen ymmärtämiseksi, miten tukirangat voivat vähentää ihmiskehon fyysistä rasitusta. Siinä käsitellään käsitteellisellä tasolla yleisimpiä käsitteitä, jotka liittyvät tukirankojen tukemiseen, jotta saadaan hyvä yleiskuva, ja lisätään teknisiä tai tieteellisiä yksityiskohtia vain silloin, kun se on tarpeen ymmärtämisen kannalta.

Mahdollisena ulkoisen tukirangan käyttäjänä pyrimme antamaan sinulle tietoa, jota tarvitset ymmärtämään ulkoisten tukirankojen mahdollisuudet sekä rajoitukset ja tekemään tietoon perustuvan, tosiasioihin perustuvan päätöksen siitä, ovatko ulkoiset tukirangat oikea valinta sinulle.

Toivottavasti nautit lukemisesta! Ota meihin yhteyttä, jos sinulla on kysyttävää.

Auxivo-tiimi

Asiakirja jakautuu kolmeen osaan

## Jaksossa 1

Esitellään tärkeimmät insinöörimekaniikan ja biomekaniikan periaatteet, joita tarvitaan, jotta voidaan ymmärtää, miten tukirangat antavat tukea.

## Jaksossa 2

Käsitellään mekanismeja ja käsitteitä, joiden avulla puettavat ulkoiset tukirangat tukevat käyttäjiään.

## Jaksossa 3

Käsitellään joitakin yleisimpiä tukirangan ulkopuolista tukea koskevia väärinkäsityksiä, jotka perustuvat jaksoissa I ja II esiteltyihin tietoihin ja käsitteisiin.

# Jakso 1

## Tärkeitä (bio)mekaanisia periaatteita

Ennen kuin keskustelemme siitä, miten tukirangat antavat tukea, meidän on esiteltävä joitakin tärkeitä mekaanisia ja biomekaanisia periaatteita. Tämä auttaa meitä ymmärtämään, miten fyysinen työ rasittaa ihmiskehoa ja miten mekaaninen järjestelmä voi auttaa vähentämään tätä räsitusta. Kun olemme ymmärtäneet nämä perusteet, tukirangan mekanismien ymmärtäminen on helppoa, koska ne perustuvat näihin periaatteisiin.

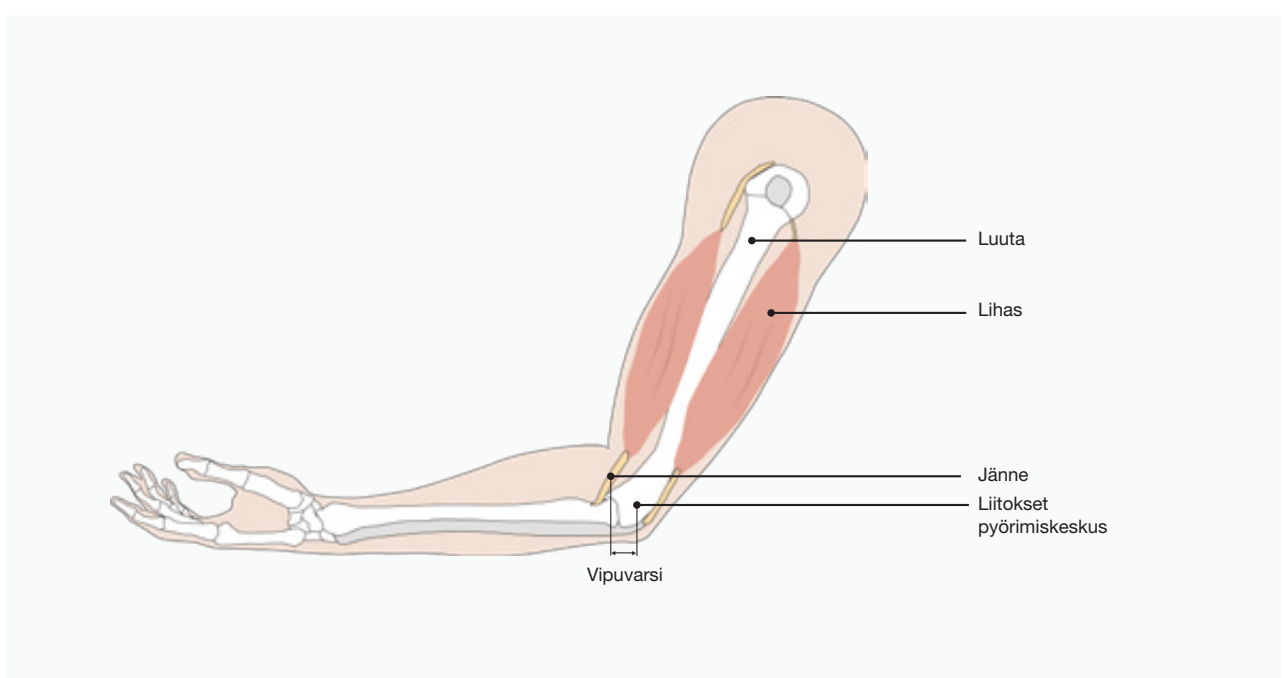
### Ihmisen tuki- ja liikuntaelimestö

Ensin tehdään lyhyt yhteenveto siitä, miten ihmiskeho pystyy liikuttamaan, pitelemään ja nostamaan esineitä tarkastelemalla ihmisen tuki- ja liikuntaelimestöä.

(Endo)luurankomme luut ovat yhteydessä toisiinsa nivelillä, jotka mahdollistavat liikkeen. Lihakset yhdistävät eri luut yhteen tai useampaan niveleen jänneiden avulla. Kun lihakset supistuvat, ne luovat luihin vetovoiman. Lihaksen kiinnityskohdan ja nivelen kiertokeskipisteen välillä on jonkin verran etäisyyttä, jota kutsumme vipuvarreksi. Tämän vipuvarren vuoksi lihasvoima aiheuttaa niveltasolla kiertovoiman (jota kutsutaan myös vääntömomentiksi), joka saa luut liikkumaan kiertoliikkeessä nivelen ympärillä.

Jos ulkoinen kuormitus (tai ihmiskehon paino) aiheuttaa vääntömomentin ihmisen niveleen, vastaavien lihasten on supistuttava luodakseen vastamomentin kyseiseen niveleen. Näin ihminen pystyy pitämään ulkoista kuormaa paikallaan tai siirtämään sitä lihasvoiman avulla. Ihmisen lihakset voivat tuottaa vain vetovoimaa. Ne eivät voi työntää luuta vasten. Jotta voidaan tuottaa liikettä kahteen suuntaan, tarvitaan (vähintään) kaksi lihasta kutakin niveltä kohti, jotka voivat vastustaa toistensa voimaa. Kutsumme vastakkain toimivien lihasten joukkoa agonistiksi ja antagonistiksi.

Jos aktivoit sekä nivelen agonisti- että antagonistilihakset samanaikaisesti, nivel jäykistyy. Näin voit estää sen liikkumisen ja luoda vakautta. Tätä kutsutaan yhteiskontraktioksi. Ko-kontraktiota voidaan käyttää myös useiden nivelten, kuten selkärangan, vakauttamiseen. Esimerkiksi jokapäiväisessä elämässä selkä- ja vatsalihakset tekevät yhteistyötä pystyasennon luomiseksi ja säilyttämiseksi.



## Jakso 1

### Tärkeitä (bio)mekaanisia periaatteita

#### Vipuvarret - Miksi sama kuormitus voi aiheuttaa erilaisia rasituksia kehossamme?

Se, kuinka paljon voimaa ihmisen lihasten on tuotettava ulkoista kuormaa käsitellessään, riippuu useista tekijöistä. Yksi tekijä on ulkoisen kuorman absoluuttinen massa. On tietysti eroa sillä, pidätkö kädessäsi 5 kg vai 20 kg. Tähän liittyy kuitenkin hieman enemmän, mikä on tärkeää ymmärtää.

Se, miten pidät ja käsittelet massaa, voi vaikuttaa merkittävästi enemmän sen kehoosi aiheuttamaan rasitukseen kuin itse kuorman massa. Kuvitellaan (tai yritetään) pitää 10 kg:n painoista säkkiä. Jos kannat laukkaa vartalosi sivulla, voit pitää sitä ilman suurempaa ponnistelua pitkään. Mutta sillä hetkellä, kun nostat sen vartalosi eteen, tunnet välittömästi, että olkapäässäsi oleva kuorma kasvaa ja ponnistelet nopeasti pitämään sitä tässä asennossa.

TSyy tähän vaikutukseen on se, että useinkaan voima ei ole se kriittinen tekijä, joka aiheuttaa ensisijaisen rasituksen kehoosi, vaan pikemminkin vääntömomentti, jonka tämä voima aiheuttaa nivelissäsi. Tämä vääntömomentti on voima kerrottuna voiman ja nivelen kiertokeskipisteen (vipuvarren) välisellä vaakasuoralla etäisyydellä:  $T = F \cdot L$ , jossa  $T$  on vääntömomentti,  $F$  on voima ja  $L$  on vipuvarsi.

Tämän seurauksena vipuvarren kasvattaminen vaakasuunnassa pitämällä kuormaa edessäsi tai kallistamalla vartaloasi eteenpäin voi nopeasti kasvattaa nivelen vääntömomenttia merkittävästi, mikä voi sitten aiheuttaa ylikuormitusta nivelissä.

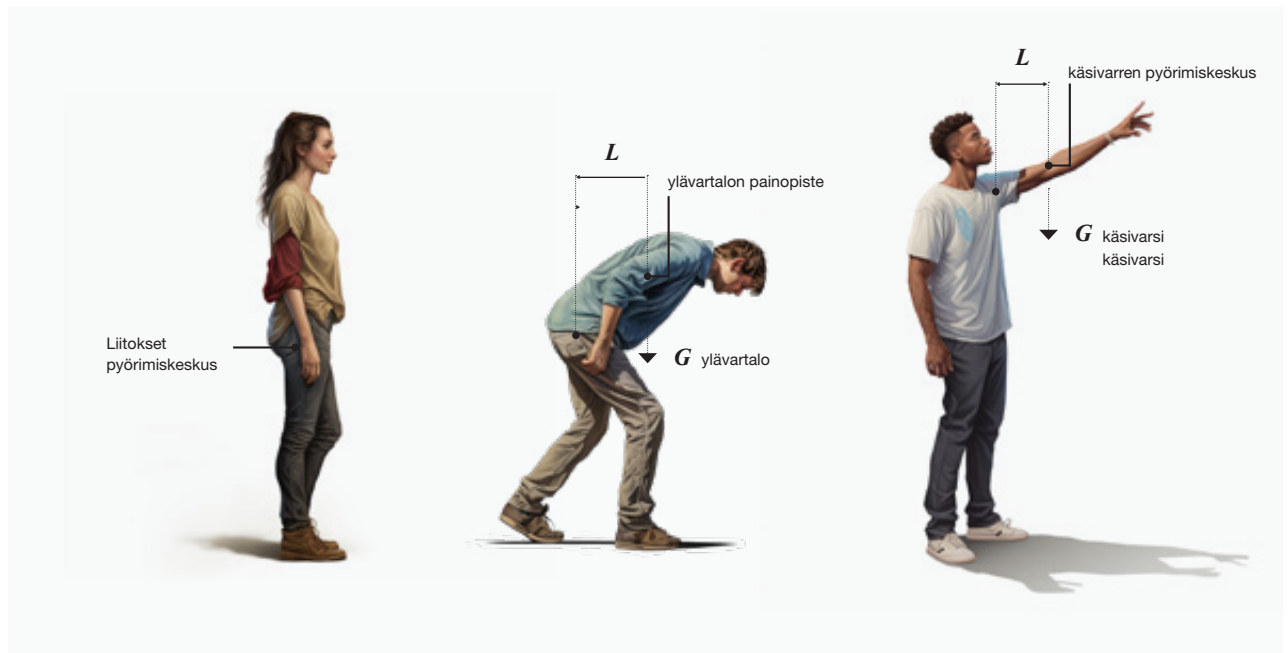


Vipuvarren (eli ihmisen nivelen ja ulkoisen voiman välisen vaakasuuntaisen etäisyyden) vaikutusta havainnollistetaan.

◀ Vasemmalla: Henkilö kantaa laukkaa vartalonsivulla. Laukku on suurin piirtein vaakasuorassa linjassa olkanivelellä. Näin ollen laukun paino aiheuttaa olkanivelelle vain pienen vääntömomentin, jota olkapään lihasten on tasapainotettava. ▶ Oikealla: henkilö pitää laukkaa vartalonsa edessä. Tällöin kassin massakeskipisteen ja olkanivelellä kiertoakselin välinen vaakasuora etäisyys (vipuvarsi) on huomattava, mikä aiheuttaa suuremman vääntömomentin, jota hartialihasten on kompensoitava.

## Jakso 1

### Tärkeitä (bio)mekaanisia periaatteita



Kehon massan ja painovoimaketässä olevan asennon vaikutus nivelkuormitukseen.

◀ Vasen: Kun vartalo on pystyasennossa ja kädet roikkuvat pystysuoraan sivulla, olkapäiden, selän ja lonkan kuormitus on suhteellisen pieni.

▲ Keskellä: Kun ylävartalo on enemmän eteenpäin nojaavassa asennossa, selkään ja lonkkaan kohdistuva kuormitus kasvaa. ▶ Oikealla: Kun käsivarsi kurottuu eteenpäin, käsivarren massakeskipiste on vaakasuoralla etäisyydellä olkanivelestä, jolloin vipuvarren ja olkapään vääntömomentti on merkittävä.

### Painovoima ja ihmiskehon massa

Edelliseen jaksoon suoraan liittyen on syytä korostaa painovoiman ja ihmiskehon massan hallitsevaa roolia, kun puhutaan työkuormituksesta tai rasituksesta. Vaikka muutkin näkökohdat, kuten kiihtyvyyden ja liikkeiden aiheuttama dynaaminen voima, vaikuttavat asiaan, painovoima on tärkein vihollisemme fyysisen rasituksen osalta. Se vetää kaikkea pysyvästi alaspäin, myös kaikkia käsittelemiämme kuormia ja kehon osia. Lihaksiemme on työskenneltävä jatkuvasti vastapainona tälle alaspäin suuntautuvalla painovoimalla.

On tärkeää ottaa huomioon, että edellä kuvattu vipuvarsiperiaate pätee myös kehon osien massaan ja massakeskipisteeseen. Näin ollen yksittäisiin niveliin ja lihaksiin kohdistuva rasitus riippuu voimakkaasti kehon asennosta. Kun seisomme suorassa, lihaksiiimme kohdistuva kuormitus on suhteellisen pieni. Kun kuitenkin kallistamme ylävartaloamme eteenpäin tai nostamme käsiä, nivelkuormitukset kasvavat huomattavasti, ja selän tai olkapään lihasten on tehtävä kovasti töitä, kuten alla on esitetty.

Hyvin usein oman kehon massan aiheuttama rasitus on suurin tekijä kokonaiskuormituksessa. Ymmärtääksemme tämän voimme tarkastella edellä esitettyä esimerkkiä eteenpäin nojaamisesta. Noin 60 prosenttia ihmisen kehon painosta sijaitsee tyypillisesti pään, käsien ja vartalon alueella. Yksinkertaisesti eteenpäin nojaavan 80 kg painavan henkilön selkä- ja lonkkalihasten on siis jo vakautettava noin 50 kg:n kuorma. Tämä tarkoittaa sitä, että kehon oman painon aiheuttama rasitus on usein suurempi kuin 10 kg:n tai 15 kg:n esineen nostamisesta aiheutuva lisärasitus. Sen vuoksi kehon painoa kompensoivan tukirangan käyttäminen voi vähentää kuormitusta merkittävästi.

## Jakso 1

### Tärkeitä (bio)mekaanisia periaatteita

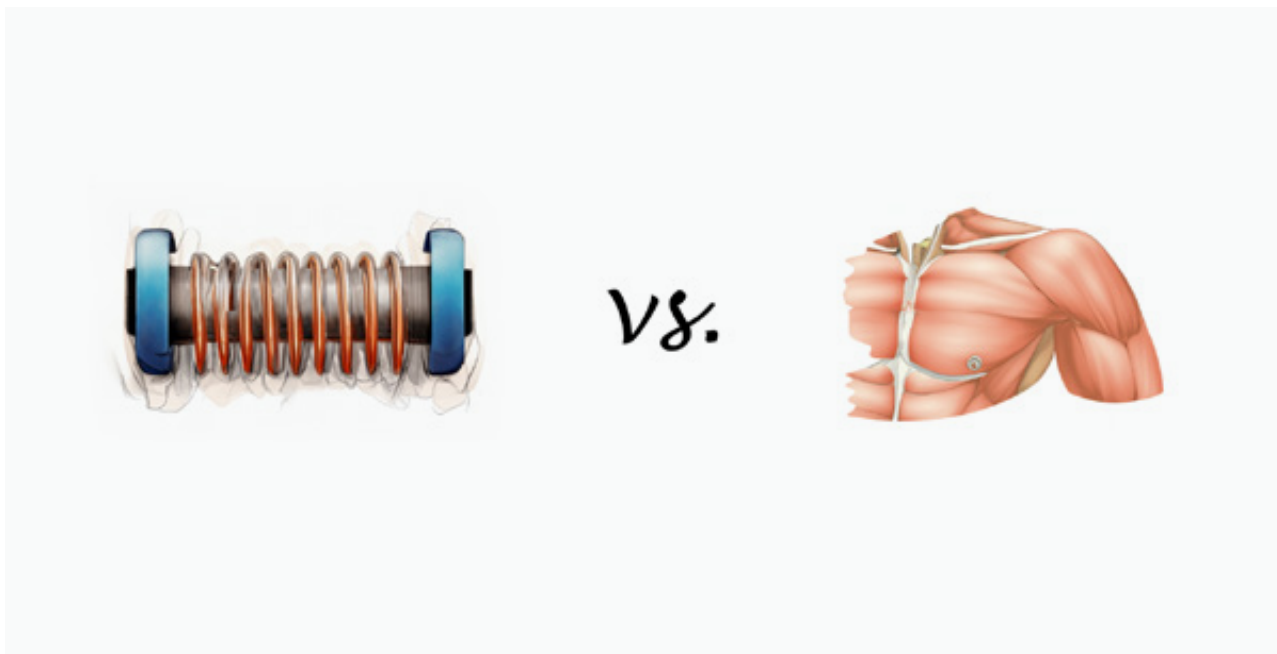
#### Tärkeitä eroja teknisen mekaniikan ja biomekaniikan välillä

Ihmiskeho ei ole kone. Vaikka tämä saattaa kuulostaa melko itsestään selvältä, on tärkeää ymmärtää, mitä tämä tarkoittaa mekaanisella ja biomekaanisella tasolla. Vaikka monet teknisen mekaniikan (koneiden voimia ja liikkeitä käsittelevät periaatteet) ja biomekaniikan (ihmiskehon voimia ja liikkeitä käsittelevät periaatteet) periaatteet ovat samankaltaisia, niissä on eroja. Exoskeleteista keskusteltaessa tärkeä ero on se, miten ihmisen lihakset ja mekaaniset jouset luovat voimaa.

Jännittynyt lihas eroaa energeettisestä näkökulmasta hyvin paljon jännittyneestä mekaanisesta jousesta. Mekaanisen jousen venyttäminen vaatii energiaa. Tämä energia vapautuu, kun jousi vapautetaan. Mekaaninen jousi luo venytettynä jatkuvasti voiman, eikä siihen tarvita lisäenergiaa. Tätä voimaa voidaan käyttää tukemaan kuormaa painovoimaa vastaan.

Toisaalta ihmisen lihakset tuottavat voimaa supistamalla käyttämällä proteiineja, jotka muuttavat kemiallisen energian mekaaniseksi energiaksi. Lihaksen proteiinit voivat liukua toisiinsa, jolloin lihassäikeet lyhenevät ja syntyy vetovoima. Aktiivisena ollessaan lihas tarvitsee jatkuvasti solujen aineenvaihduntaprosessien tuottamaa energiaa. Tämä voi johtaa energiavarastojen ehtymiseen, neuromuskulaariseen väsymykseen ja muihin aineenvaihdunnallisiin ja neuromuskulaarisiin vaikutuksiin, jotka tarvitsevat energiaa ja rajoittavat lihaksen supistumiskykyä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että kun mekaaninen jousi on venytetty, se voi luoda pysyvän voiman ilman lisäenergiaa. Sitä vastoin ihmisen lihas tarvitsee jatkuvasti energiaa pysyäkseen supistuneena, mikä johtaa väsymiseen ja uupumiseen.



On tärkeää ymmärtää, että mekaaniset jouset ja ihmisen lihakset tuottavat voimaa eri tavalla. Esijännitetty mekaaninen jousi ei tarvitse energiaa vakiovoiman tuottamiseen, ja se voi kantaa kuormaa loputtomiin. Sen sijaan ihmisen lihakset tarvitsevat jatkuvaa energiansaantia ja väsyvät nopeasti.

## Jakso 2

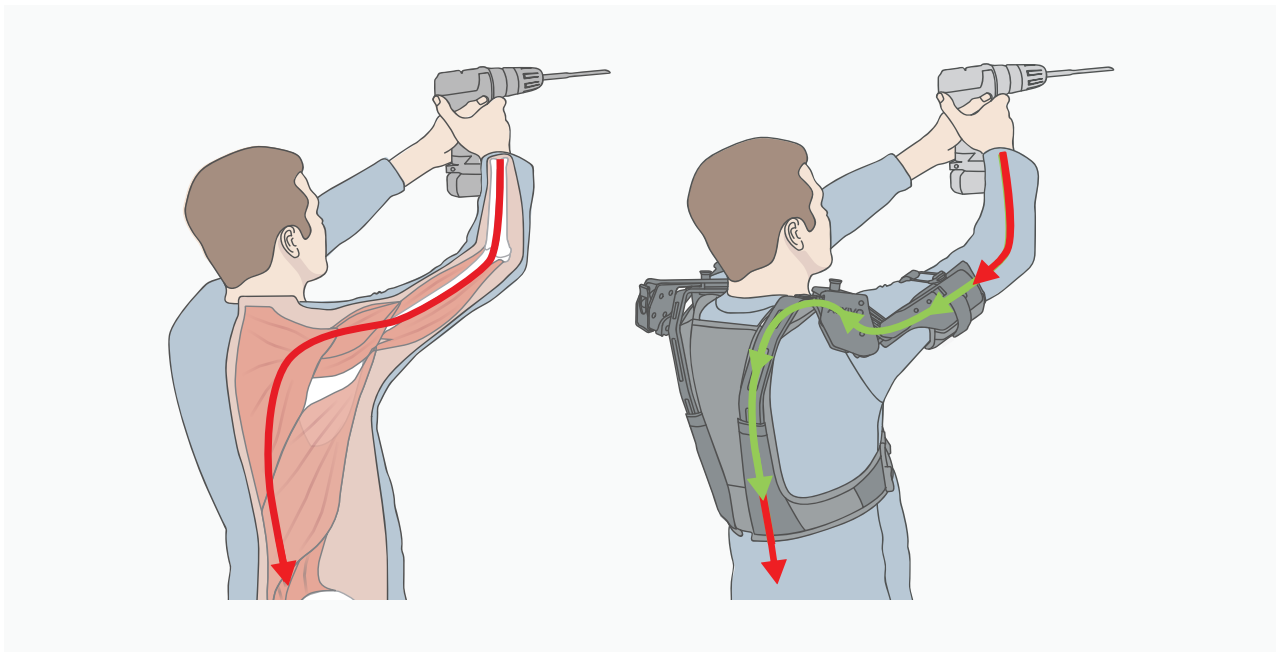
# Miten ulkoiset tukirangat tukevat käyttäjiään

Nyt kun olemme käsitelleet tärkeimmät (bio)mekaaniset perusteet, tarkastellaan, miten tukirangat voivat tukea käyttäjiään. Useimmissa tukirangoissa yhdistyvät useat seuraavista periaatteista, mutta käsittelemme jokaista erikseen, jotta ne olisivat helpommin ymmärrettävissä.

### Ohitusperiaate

Tämä on suhteellisen yksinkertainen mutta tehokas lähestymistapa. Monet ulkoiset tukirangat ohittavat mekaanisesti kuormituksen yhden tai useamman ihmisen nivelen ympärillä. Exoskeletonin kattamien kehonosien osalta se siis siirtää kuorman (tai osan siitä) kehosta exoskeletoniin, jolloin kuorma kulkee exoskeletonin kautta ja ohittaa tuki- ja liikuntaelimestön. Exoskeletonin alemmassa kiinnityskohdassa kuorma siirtyy takaisin kehoon, josta se siirtyy maahan, samalla tavalla kuin kuorman kulku ilman exoskeletonia.

Kun esimerkiksi pidät kädessäsi 5 kg:n painoista massaa, tämä kuorma kanavoituu ranteen, kynnänpään ja olkapään kautta selkärankaa pitkin lonkkien kautta jalkoihin, polviin ja nilkkoihin ja lopulta maahan. Matkan varrella se rasittaa kaikkia näitä kehon osia. Kun käytät olkapää-exoskeletonia, kuten Auxivo DeltaSuitia, merkittävä osa kuormituksesta siirretään suoraan olkavarresta vartaloon, jolloin verrattain haavoittuva olkanivel ohitetaan.



### Bypass-periaatetta havainnollistetaan Auxivo DeltaSuitin avulla:

Punainen nuoli osoittaa kuorman kulkureitin kehon läpi ja vihreä ulkoisen tukirangan läpi. Kuorman siirtäminen ulkoiseen tukirankaan voi vähentää lihaksiin, jänteisiin ja niveliin kohdistuvaa rasitusta ohitettavalla osuudella.

## Jakso 2

### Miten ulkoiset tukirangat tukevat käyttäjiään



#### Kuorman uudelleenjakokäsitteen havainnollistaminen.

◀ Vasemmalla: kuorma kannetaan käsissä ja se vaikuttaa kehoon sieltä käsin. ▶ Oikealla: CarrySuit jakaa kuorman kiinnityksen koko ylävartaloon, mikä vähentää paikallisia kuormitushuippuja.

#### Kuorman uudelleenjakoperiaate

Kun ulkoinen kuormitus vaikuttaa kehoosi paikallisesti tai epäsymmetrisesti, esimerkiksi kun kannat jotain raskasta yhdellä kädellä, se aiheuttaa tyypillisesti suurimman osan rasituksesta vain pieneen kehon osaan. Tämä johtuu siitä, että kuorma kulkee suorinta reittiä kehosi läpi maahan. Tämä tarkoittaa myös sitä, että riski paikallisen ylikuormituksen syntymiselle tietyissä nivelissä on suuri, kun taas kuormitus ei välttämättä vaikuta juuri lainkaan muuhun kehoon.

Ulkoiset tukirangat voivat muuttaa tätä jakamalla kuormituksen uudelleen ja jakamalla sen tasaisemmin laajemmille kehon osille ja pois kehon osista, joihin kohdistuu paikallinen ylikuormitusriski. Yksi esimerkki kuormituksen jakamista käyttävästä exoskeletonista on Auxivo CarrySuit, joka koostuu ylävartalon ympärillä olevasta kehuksesta. Kun siihen kiinnitetään kuorma, runko jakaa kuorman automaattisesti tasaisemmin käyttäjän keholle liittämällä sen lonkkaan ja olkapäähän molemmin puolin.

Tämän periaatteen soveltaminen tarkoittaa tietysti sitä, että ulkoinen tukiranka voi lisätä muiden kehon osien, kuten lonkan, kuormitusta, mikä saattaa kuulostaa asiayhteydestä irrotettuna haitalliselta. Se tarkoittaa kuitenkin myös, että kuormitus jakautuu tasaisemmin koko kehoon, jolloin vältetään paikalliset kuormitushuiput, jotka usein lisäävät vammojen riskiä.



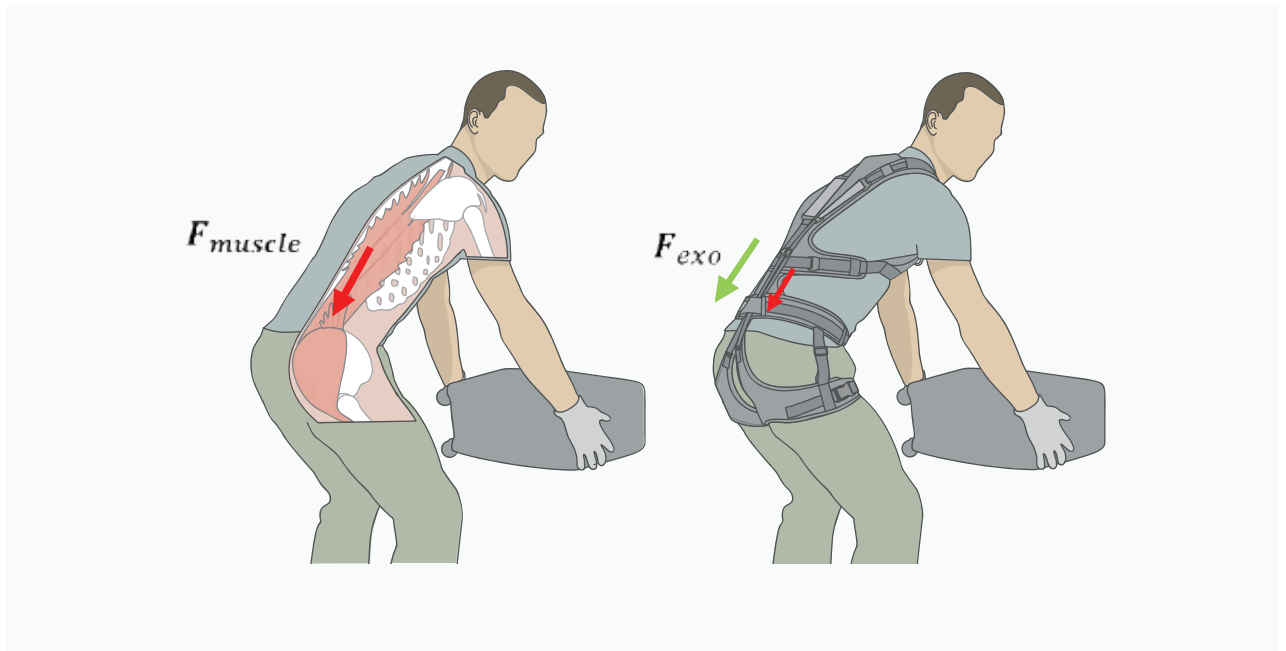
## Jakso 2

### Miten ulkoiset tukirangat tukevat käyttäjiään

#### Lihastuki keinotekoisilla lihaksilla

Keinotekoisien lihastuen idea on yksinkertainen: kehon ulkopuolella olevat passiiviset tai aktiiviset kiristysjärjestelmät luovat tukivoiman, joka on samanlainen kuin ihmisen lihasten luoma voima. Tätä konseptia käyttävissä ulkoisissa tukirangoissa on "keinotekoisia lihaksia", jotka on liitetty kehoon yleensä tekstiilirajapintojen avulla ja jotka on järjestetty siten, että ne luovat vetovoiman, joka on samansuuntainen alla olevan ihmislihaksen kanssa, ja tukevat siten kyseistä lihasta. Nämä keinotekoiset lihakset voivat saada virtansa kaapeliin kytketystä toimilaitteesta tai ne voidaan toteuttaa jousien tai elastisten nauhojen avulla, jotka venyvät liikkeen aikana ja luovat mekaanisen vetovoiman.

Tätä konseptia käytetään usein tekstiilipohjaisissa tukirangoissa (joihin viitataan myös nimellä Exosuits), koska sitä voidaan käyttää ilman jäykkää runkoa. Tällöin keinotekoiset lihakset tukeutuvat ihmisen (endo) luurankoon vakauden takaamiseksi. Keinolihasen päätavoitteena on vähentää käyttäjän lihaksiin ja jänteisiin kohdistuvaa rasitusta. Jos käyttäjän lihakset työskentelevät vähemmän, ne väsyvät hitaammin. Kun lihakset väsyvät, niiden koordinaatio vaikeutuu. Toistuva rasitus ja väsymys ovat riskitekijöitä tuki- ja liikuntaelinten sairauksien kehittymiselle. Pääajatuksena on siis avustaa ihmislihaksia keinotekoisilla lihaksilla ja vähentää lihasväsymystä, uupumusta, lihasten tai jänteiden loukkaantumisriskiä ja yleistä työ määrää.

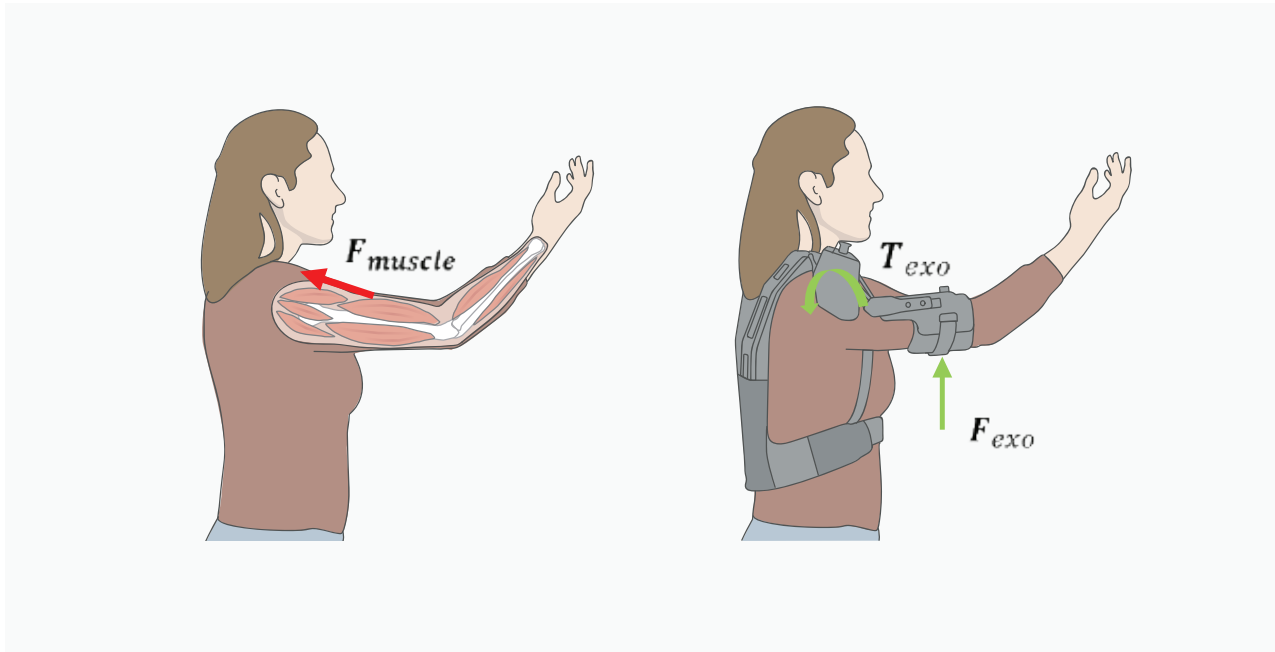


Kuva siitä, miten Auxivo LiftSuitin keinotekoiset lihakset tukevat käyttäjän selkälihaksia.

Kun käyttäjä nojaa eteenpäin, selkälihasten on supistuttava ja luotava voima, joka pitää kehon eteenpäin nojaavassa asennossa. Kun ulkoinen tukiranka on ulkopuolella, "keinotekoiset lihakset" luovat voiman, joka tukee suoraan alla olevia selkälihaksia, mikä vähentää lihasrasitusta.

## Jakso 2

### Miten ulkoiset tukirangat tukevat käyttäjiään



Kuvitus ulkoisen tukirangan tuesta nivelatasolla.

◀Vasemmalla: Kun käyttäjä nostaa kättään, vastaavat lihakset olkapäässä supistuvat ja luovat vetovoiman, joka luo vääntömomentin olkaniveleen, joka nostaa kättä. ▶Oikealla: Exoskeleton tukee niveltä, jolloin exoskeleton tuottaa nivelessä vääntömomentin, joka luo yläkäsivarren ja käsivarren rajapintaan ylöspäin suuntautuvan voiman, joka tukee käsivarren nostamista.

#### Niveltuki vääntömomentilla

Toinen mahdollisuus, miten tukiranka voi tukea käyttäjiään, on käyttää avustavaa vääntömomenttia tietyn nivelen ympärillä.

Exoskeletonit voivat tuottaa nivelmomenttia eri tavoin. Aktiiviset ulkoiset tukirangat perustuvat tyypillisesti moottorikäyttöisiin toimilaitteisiin, ja passiiviset ulkoiset tukirangat perustuvat tyypillisesti jousiin, jotka on järjestetty siten, että ne luovat vääntömomentin nivelatasolla. Kummassakin tapauksessa ihmisen lihakset voivat rentoutua jonkin verran, koska ainakin osa nivelen vääntömomentista, joka tarvitaan esimerkiksi käden nostamiseen, saadaan ulkoisesta tukirangasta.

Menetelmän toinen hyöty on, että se voi vähentää nivelen puristusta ja mahdollisesti ehkäistä nivelvaurioita, kuten nivelrikkoa. Syynä on se, että niveltuki johtaa myös lihasvoiman vähenemiseen, joka on samanlainen kuin keinotekoisilla lihaksilla. Toisin kuin keinotekoinen lihas, se ei kuitenkaan vain korvaa yhtä vetovoimaa toisella. Se synnyttää vääntömomentin ulkoisen tukirangan nivelen ympärille ja siirtää sitten tämän vääntömomentin jäykän rungon kautta kehoon nähden kohtisuoraan kohdistuvana voimana. Tämä mekaaninen ero voi johtaa siihen, että niveleen kohdistuva puristusvoima vähenee kokonaisuudessaan.

On tärkeää huomata, että luonnollinen nivelten puristus ei ole mitään pahaa. Se itse asiassa auttaa vakauttamaan niveltä kuormituksen alaisena. Jos niveleen kohdistuu kuitenkin usein suuria voimia, se voi johtaa nivelen nivelsiteiden ja ruston vaurioitumisesta johtuviin ylikuormitusvammoihin ja kipuun.

## Jakso 2

### Miten ulkoiset tukirangat tukevat käyttäjiään

#### Painovoiman kompensointi:

##### Painovoimakuormien kompensointi

Koska painovoima on yksi suurimman fyysisen työmäärän tärkeimmistä syistä, painovoiman vaikutusten tasoittaminen ulkoisen tukirangan avulla on merkittävä lähestymistapa.

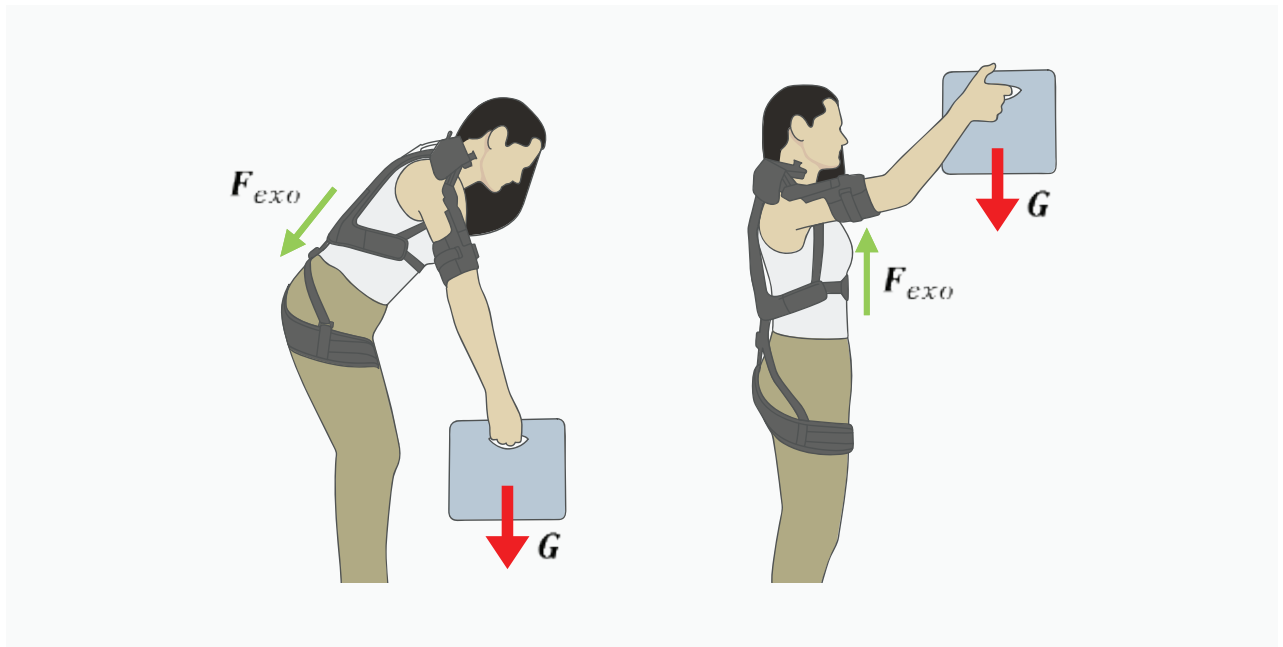
Painovoiman kompensoinnin ideaa havainnollistetaan jäljempänä OmniSuit-ulkoasurungon avulla, joka tukee sekä selkää että olkapäitä. OmniSuit-exoskeleton-tukirangan selkätukimoduulin tarjoama painovoiman kompensointi alkaa toimia, kun käyttäjä nojaa eteenpäin ja painovoima alkaa vetää ylävartaloa alaspäin. Ilman tukirangan tukea selkä- ja lonkkanivelten on kompensoitava tämä painovoiman vetovoima supistamalla ja vetämällä ylävartaloa ylöspäin. OmniSuitia käytettäessä selässä olevat joustavat jouset venyvät automaattisesti, kun ylävartalo taipuu eteenpäin, jolloin osa tästä kuormituksesta absorboituu ja näin ihmisen lihakset vapautuvat.

Toinen esimerkki on OmniSuit-ulkoasurungon olkatukimoduuli. Kun sitä käytetään, se tukee olkapäätä automaattisesti asteittain, kun kättä nostetaan. Olkanivelen jousijärjestely on suunniteltu siten, että se antaa maksimaalisen tuen, kun käsivarsi saavuttaa vaakasuoran asennon, jolloin se on suurimmillaan "alttiina" painovoimalle.

Eräs tärkeä yksityiskohta on, että tukirangan molemmat tukimoduulit kompensoivat painovoimaa vain silloin, kun painovoima kuormittaa kyseisiä niveliä vipuvarren vuoksi. Esimerkeissämme selän tukimoduuli ei siis vedä, kun käyttäjä seisoo suorassa, eikä olkapäiden tukimoduuli työnnä ylöspäin, kun kädet roikkuvat pystysuoraan vartalon sivulla. Vasta kun käyttäjä kumartuu eteenpäin tai nostaa kätensä ylös, ulkoiset tukirangat alkavat tukea niitä.

Exoskeleton ei yleensä täysin kompensoi painovoimaa. Se vain kompensoi tietyn prosenttiosuuden (tyypillisesti 20-50 %) kehoon kohdistuvasta painovoiman aiheuttamasta kuormituksesta ja helpottaa siten jokaista toistoa tai sekuntia. Tämä osittainen kompensointi tarkoittaa myös sitä, että ihmisen lihasten ei tarvitse jännittää passiivisen ulkoisen tukirangan jousia - painovoima tekee sen.

Painovoiman kompensointi yhdessä sen kanssa, että ihmisen lihakset tarvitsevat jatkuvasti energiaa, kun ne pitävät yllä voimaa, kuten 1 jaksossa selitettiin, ovat ulkoisen tukirangan tukemisen ensisijaiset periaatteet staattisissa tehtävissä, kuten pitkittyneessä eteenpäin nojautumisessa tai ylhäällä työskentelyssä.

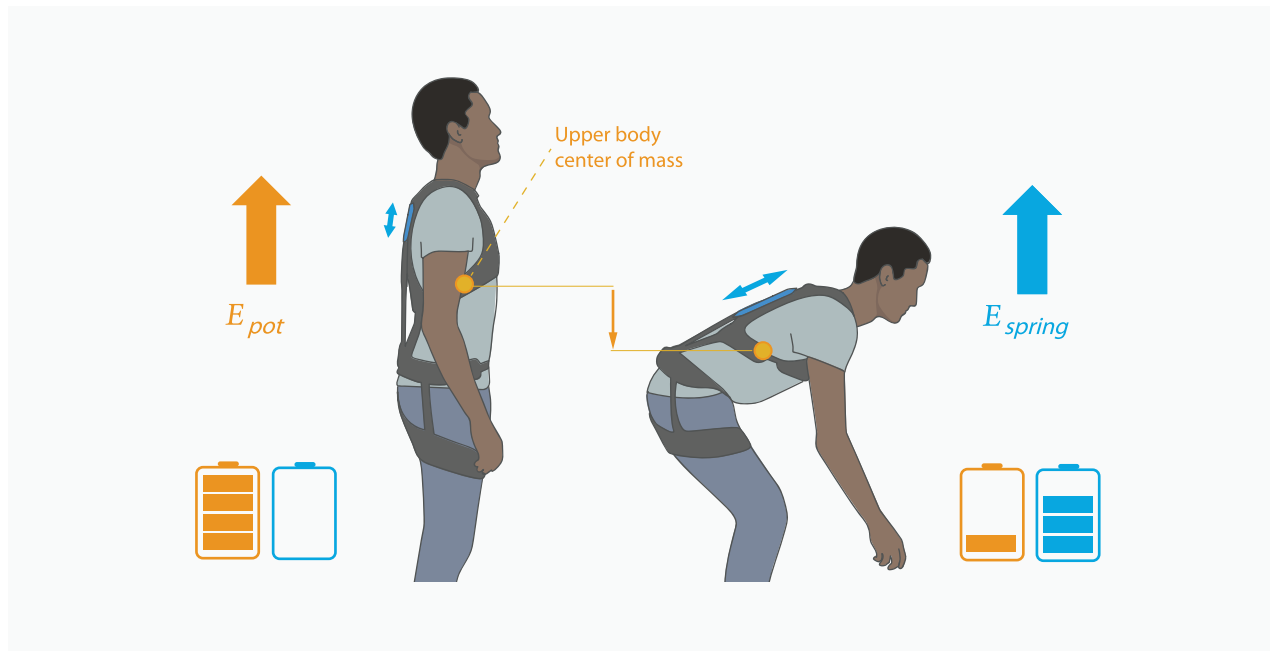


#### Havainnollistus painovoiman kompensointikonseptista Auxivo OmniSuitilla

◀ Vasen: Kun käyttäjä alkaa nojautua eteenpäin tai pitää kuormaa vartalonsa edessä, painovoima alkaa vetää ylävartaloa alaspäin. OmniSuitia käytettäessä eteenpäin nojaaminen alkaa automaattisesti myös venyttää tukirangan takaosassa olevia jousia. Tästä johtuva jousien voima vetää käyttäjää taaksepäin ja kumoaa osan eteenpäin vetävästä painovoimasta. ▶ Oikealla: OmniSuitin hartiatuki on kuvassa. Kun käyttäjä alkaa nostaa kättä, hän tuntee painovoiman vetävän sitä alaspäin. OmniSuit-pukua käytettäessä exoskeleton tukee olkapäätä asteittain sitä korkeammalle, mitä korkeammalle kättä nostetaan, ja kompensoi painovoiman aiheuttamaa alaspäin suuntautuvaa voimaa työntämällä kättä ylöspäin.

## Jakso 2

### Miten ulkoiset tukirangat tukevat käyttäjiään



Kuva energian varastointi- ja talteenotto-konseptista.

Kun ihminen seisoo pystyasennossa, ylävartalon massa varastoi potentiaalienergiaa, kun taas LiftSuit-selkänöjää tukevan tukirangan jousiin ei varastoidu energiaa. Kun käyttäjä kumartuu eteenpäin ja laskee ylävartalon massakeskipistettä, potentiaalienergia vapautuu ja siirtyy tukirangan jousiin, joihin se varastoituu. Kun käyttäjä siirtyy takaisin pystyasentoon, energia muuttuu takaisin potentiaalienergiaksi ja tukee näin liikettä.

**Energian talteenotto: Työn tekeminen vain kerran**  
Passiivisten, jousipohjaisten ulkoisten tukirankojen erittäin tärkeä käsite on energian talteenotto. Usein kysytään, mistä jousien jännittämiseen tarvittava energia saadaan. Vastaus on: energia on jo olemassa, se on varastoitunut kehoon, kun seisot pystyssä. Selittääksemme tämän meidän on esiteltävä hieman fysiikkaa: Jokaiseen painovoimakentässä olevaan esineeseen, jolla on massa, on varastoitunut niin sanottua potentiaalienergiaa. Tähän kappaleeseen varastoituneen energian määrä on  $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ , ssiis esineen massa  $m$  kerrottuna sen korkeudella  $h$  kerrottuna Maan vetovoimakiihtyvyydellä  $g$ . Tämä potentiaalienergia muuttuu, jos kohteen korkeutta kasvatetaan (tarvitaan lisää energiaa) tai sitä pienennetään (energiaa vapautuu).

Auxivo LiftSuitin kaltaisen nostoa tukevan tukirangan tapauksessa energia, josta puhumme, on ihmisen ylävartalon massan potentiaalienergiaa. Jos ihminen seisoo pystyssä, ylävartalo on korkeimmalla, ja ylävartalon massa sisältää potentiaalienergiaa. Kun henkilö kumartuu eteenpäin, jolloin massakeskipiste siirtyy alaspäin, potentiaalienergia vapautuu, ja suurin osa siitä häviää energiahäviön kautta. Kun haluamme palata ylöspäin, lihasten on investoitava lisäenergiaa potentiaalienergian palauttamiseksi.

Kun LiftSuit ja sen mekaaniset jouset asetetaan henkilön selkään, jousi venyy eteenpäin nojattaessa, ja ainakin osa kehosta vapautuvasta potentiaalienergiasta siirtyy jouselle ja varastoituu järjestelmään sen sijaan, että se haihtuisi ja katoaisi. Jousen energia ilmaistaan seuraavalla yhtälöllä:  $E_{spring} = 1/2 \cdot k \cdot x^2$ , jossa  $k$  on jousen jäykkyys ja  $x$  on jousen siirtymä tasapainoasennosta. Kun ihmisen ylävartalo liikkuu takaisin pystyasentoon, jousen varastoima mekaaninen energia muuttuu takaisin ylävartalon potentiaalienergiaksi. Tämä prosessi toistuu jokaisessa nostossa, ja varastoitunut energia siirretään ja muunnetaan edestakaisin ihmiskehon ja tukirangan välillä.

Tyypillisesti jousi ei tietenkään voi varastoida kaikkea ihmisen ylävartalon potentiaalienergiaa, eikä prosessi ole myöskään 100-prosenttisen tehokas esimerkiksi kitkan vuoksi. Muussa tapauksessa saisimme kaiken energian takaisin jokaisen nostokerran aikana nollassumman energiatasapainossa, ja voisimme periaatteessa tehdä sitä ikuisesti. Vaikka vain tietty prosenttiosuus potentiaalienergiasta varastoituu ja palautuu jokaisen nostokerran jälkeen, tämä prosessi vähentää kuitenkin merkittävästi työmäärää.

Energian talteenottoperiaatteen ansiosta jousipohjaiset ulkoiset tukirangat ovat niin energiatehokkaita, ja ne voivat tarjota hyvän tuen samalla kun ne ovat pieniä, kevyitä ja kustannustehokkaita.

# Jakso 3

## Yleiset väärinkäsitykset

Tässä viimeisessä osassa haluamme käsitellä joitakin yleisiä väärinkäsityksiä, joita kuulemme usein ja jotka aiheuttavat usein hämmennystä. Jos olet lukenut edelliset osat, pystyt nopeasti tunnistamaan väärät oletukset, joihin nämä väärinkäsitykset perustuvat.

**Ensimmäinen harhaluulo: Vain aktiiviset tukirangat tarjoavat todellista tukea, koska passiiviset järjestelmät vaativat ensin energian sijoittamista.**

Tärkein harhaluulo on, että passiivisen tukirangan tapauksessa lihaksesi on tuotettava voima tukirangan jousien jännittämiseksi. Sinun on siis ensin tuotettava energia, joka tukee sinua myöhemmin. Kyseessä ei siis ole "todellinen" tuki, koska sinun on tehtävä kaikki työ ensin itse. Aktiiviset järjestelmät sen sijaan tarjoavat lisävoimaa ja energiaa. Siksi on loogista, että vain aktiiviset järjestelmät voivat tukea sinua.

Tämä väärinkäsitys perustuu useisiin vääriin oletuksiin, jotka voidaan nopeasti korjata, kun sovelletaan painovoiman kompensoinnin ja energian talteenoton käsitteitä sekä teknisen mekaniikan ja biomekaniikan välisiä eroja.

**Ensimmäinen väärä oletus liittyy voimiin.**

Oletetaan, että ihmisen lihasten on aktiivisesti jännitettävä passiivisen tukirangan jousia. Kuten tiedämme, niin kauan kuin passiiviset jouset vain kompensoivat kehoon kohdistuvaa painovoimakuormitusta, sinun ei tarvitse käyttää lisävoimia jousen esijännittämiseen, koska painovoima tekee sen puolestasi! Kun jousituki on suunniteltu hyvin, se ei koskaan kompensoi liikaa kehon painoa missään asennossa, eikä sinun tarvitse koskaan käyttää lihaksia jousen jännittämiseen.

**Toinen väärä oletus liittyy energiataseeseen.**

Siinä oletetaan, että passiivisessa järjestelmässä on aina investoitava energiaa, ja jos onni on myötä, saat vain osan siitä takaisin. Tämän seurauksena kyseessä on parhaimmillaan nollasummienergiatase, mikä tarkoittaa, että todellista tukea tai kuormituksen vähentämistä ei tapahdu.

Yksi osa tätä energia-alan harhakäsitystä on se, että nollasummien energiatasapaino on jotakin huonoa ja tehotonta. Todellisuudessa nollasummien energiatase olisi hämmästyttävä tulos. Se tarkoittaisi, että voisimme tehdä loputtomasti kehonpainon kyykkyjä hikeä pyyhkimättä, koska jokaisen toiston aikana saisimme kaiken energiamme takaisin energian palautumisen kautta.

Todellisuudessa nostaminen ja eteenpäin nojaaminen on paljon parempaa. Kehomme polttaa energiaa joka sekunti, jonka olemme eteenpäin nojaavassa asennossa. Joka kerta, kun kyykistymme alas, kehomme potentiaalinen energia haihtuu lähes kokonaan, ja se on rakennettava uudelleen lihasvoiman avulla.

Näin ollen passiivinen, jousipohjainen ulkoinen tukiranka, joka käyttää energian talteenottoa jopa pienen prosenttiosuuden palauttamiseksi jokaisen nostokerran aikana, voi tehdä merkittävän eron. On totta, että tämä tukiranka ei lisää järjestelmään lisäenergiaa. Silti se estää meitä menettämästä ja tuhlaamasta energiaa työn aikana, mikä on paljon tehokkaampi tapa tarjota tukea.

Toinen näkökohta tässä väärässä energiaoletuksessa on se, että mekaanisen ja biomekaanisen järjestelmän väliset erot jätetään huomiotta. Ihminen voi säästää paljon enemmän energiaa kuin mitä mekaaniseen jouseen on varastoitunut yksinkertaisesti siksi, että kuten edellä on todettu, esijännitetystä mekaanisesta jousesta tuleva pysyvä tukivoima säästää ihmisen käyttäjältä lisäenergiaa joka sekunti ihmisen lihasten aineenvaihdunnan vuoksi.

## Jakso 3

### Yleiset väärinkäsitykset

**Toinen harhaluulo: Exoskeletonit vähentävät yhden ruumiinosan kuormitusta siirtämällä sen toiseen ja lisäämällä sitä siellä, mikä on itse asiassa vaarallista.** Myönnetään ensinnäkin, että osa tästä lausumasta ei ole täysin virheellinen. Kuten edellä on todettu, ulkoiset tukirangat voivat hyödyntää kuormituksen uudelleenjakoa eri tavoin. Mutta kun se esitetään edellä mainitulla tavalla, se antaa ymmärtää, että kuorman uudelleenjakoa on aina välttämätöntä ja johtaa lisääntyneeseen räsitykseen kehon osissa, jotka eivät aiemmin olleet kuormituksen alaisina. Se antaa myös ymmärtää, että kuorman uudelleenjakoa yhdestä osasta toiseen on jotakin sinänsä huonoa ja epäterveellistä, mikä on väärinkäsitys, johon haluamme puuttua:

#### **Ensinnäkin paikallista räsitystä voidaan pienentää lisäämättä räsitystä muualla:**

Edellä kuvattua kuorman ohittamisen käsitettä hyödyntämällä voidaan vähentää ihmiskehon ja yksittäisten kehon osien räsitystä ilman, että se välttämättä lisääntyy muualla. Ulkoinen tukiranka yksinkertaisesti tarjoaa vaihtoehdoisen kuormitusreitit kohti maata, jonne kaikki painovoiman aiheuttama kehon kuormitus lopulta saapuu. Miksi ei siis ohitettaisi kehon osia, jotka ovat vaarassa ylikuormittua?

#### **Toiseksi kuormituksen jakaminen suuremmalle kehon alueelle voi olla hyödyllistä:**

Kuorman uudelleenjakoa, jossa tietoisesti hyväksytään kuormituksen lisääntyminen muissa kehon osissa, on lähestymistapa, jota voidaan käyttää tarkoituksellisesti. Ja kyllä, tämä tarkoittaa, että kuormitus joissakin kehon osissa lisääntyy, mutta oikein käytettynä kuormituksen uudelleenjakoa ei ole oletusarvoisesti jotain huonoa. Sama kuormitus voidaan jakaa tasaisemmin suuremmalle osalle kehoa. Kuorman uudelleenjakoa voi tarkoittaa myös parempaa kuorman tasaamista, jolloin se voi esimerkiksi jakaa epäsymmetrisen kuorman tasaisemmin kehon vasemmalle ja oikealle puolelle. Kuormitus 120% ja 50% maksimikapasiteetista kehon vasemmalla ja oikealla puolella on epäterveellisempää kuin 90% - 80% jakautuminen.

# Yhteenveto ja loppusanat

Toivomme, että nautit tämän valkoisen kirjan lukemisesta ja että se auttoi sinua ymmärtämään, mitä tukikonsepteja nykyaikaisissa työelämän ulkoisissa tukirangoissa hyödynnetään.

Todennäköisesti kävi selväksi, että ulkoisen tukirangan suunnittelussa voidaan valita monista eri konsepteista, ja mekaanisten ja biomekaanisten periaatteiden hyvä ymmärtäminen on olennaista, jotta voidaan varmistaa, että lopputuloksena syntyvä malli tarjoaa parhaan mahdollisen suorituskyvyn ja maksimaalisen hyödyn käyttäjilleen.

Suurinta osaa käsitellyistä periaatteista voidaan hyödyntää kaikenlaisissa tukirangoissa, ja ne ovat tavallaan universaaleja. Riippumatta siitä, onko kyseessä aktiivinen vai passiivinen, jäykkä vai pehmeä ulkoinen tukiranka, ne kaikki käyttävät tavalla tai toisella joitakin edellä kuvattuja käsitteitä.

Tämän vuoksi mikään näistä tukirankaluokista ei ole lähtökohtaisesti parempi tai huonompi kuin muut. Ne kaikki perustuvat samoihin perusideoihin, mutta ne on vain toteutettu eri tekniikoita käyttäen.

Jos haluat lisätietoja ulkoisista tukirangoista, suosittelimme sinua vierailemaan verkkosivuillemme. Siellä voit tutustua eri teollisuudenaloille suunnattuun työelämän exoskeleton-tarjontamme. Jos olet kiinnostunut oppimaan lisää exoskeleton-teknologiasta, EduExo-sarjan opetukselliset exoskeletonimme voivat auttaa sinua oppimaan, miten voit suunnitella ja rakentaa oman exoskeletonisi.

# Tietoa kirjoittajista



**Volker Bartenbach**  
Volker on Auxivon perustaja ja toimitusjohtaja. Hänellä on tohtorin tutkinto tukirankarobotiikasta ja yli 12 vuoden kokemus luurankojen kehittämisestä, tutkimuksesta ja kaupallistamisesta, ja hänen tavoitteenaan on kehittää suorituskykyisiä tukirankoja ja tuoda ne yhä useampien ihmisten saataville.



**Rachel van Sluijs**  
Rachel on Auxivon tutkimuspäällikkö. Hänellä on neurotieteiden tohtorin tutkinto ja liikuntatieteiden maisterin tutkinto, ja hänen työnsä tavoitteena on ymmärtää ja optimoida puettavien ulkoisten tukirankojen ja käyttäjän välistä vuorovaikutusta, jotta ihmiskeho voi hyödyntää ulkoisen tukirangan tukea täysimääräisesti.



**Roger Gassert**  
Roger on Auxivon toinen perustaja ja tieteellinen neuvonantaja. Hän on myös kuntoutustekniikan professori ETH Zürichissä. Hänen tutkimuksensa keskittyy kannettavien ja puettavien kuntoutusteknologioiden, kuten ulkoisten tukirankojen, kehittämiseen ja kliniseen validointiin.

## Tietoja Auxivo

Auxivo AG on johtava ulkoisten tukirankojen kehittäjä ja valmistaja, joka perustettiin vuonna 2019 ETH Zürichin spin-off-yrityksenä. Yrityksen tehtävänä on parantaa työntekijöiden turvallisuutta ja hyvinvointia tarjoamalla innovatiivisia ja helposti saatavilla olevia ratkaisuja, jotka vähentävät fyysistä työmäärää ja loukkaantumisriskiä. Yrityksen nopeasti kasvava exoskeleton-portfolio tarjoaa käytännöllisiä ratkaisuja esimerkiksi logistiikan, valmistuksen, rakentamisen tai terveydenhuollon aloille.



## Tekijänoikeus

Tammikuu 2024 © Auxivo AG

Tämän asiakirjan sisältö ovat tekijänoikeussuojattuina. Kaikki oikeudet pidätetään.

Auxivo®, LiftSuit®, CarrySuit®, DeltaSuit®, OmniSuit® ovat Auxivo AG:n rekisteröityjä tavaramerkkejä.

Regardless of the purpose, use of these trademark are prohibited without the written permission of Auxivo AG.

Tekniset muutokset, virheet ja laiminlyönnit ilman ennakkoilmoitusta.

**Auxivo AG**  
Sonnenbergstrasse 74  
8603 Schwerzenbach  
Switzerland

[info@auxivo.com](mailto:info@auxivo.com)  
+41 77 250 35 31

[auxivo.com](http://auxivo.com)

AUXIVO