

Slutrapport til Arbejds miljøforskningsfonden

Mekaniske exoskeletter til nedbringelse af skulderbelastninger i slagteribranchen



David Høyrup Christiansen,^{1,2,3} Jeppe Frost,⁴ Regine Grytnes,⁴ og Annett Dalbøge^{3,5}

1 Forskning, Hospitalsenhed Midt, Regionshospitalet Viborg

2 Center for Planlagt Kirurgi, Hospitalsenhed Midt, Regionshospitalet Silkeborg

3 Institut for Klinisk Medicin, Health, Aarhus Universitet, Aarhus

4 Arbejdsmedicin, Dansk Ramazzini Center, Regionshospitalet Gødstrup, Herning

5 Arbejdsmedicin, Dansk Ramazzini Center, Aarhus Universitetshospital, Aarhus

Indholdsfortegnelse

1. Forord	2
2. Resume	3
3. English summary	4
4. Baggrund	5
5. Materiale og metode	7
5.1 Studiepopulation og setting.....	7
5.2 Studiedesign.....	8
5.3 Exoskelet.....	8
5.4 Arbejdsopgave	9
5.5 Analyse.....	12
6. Resultater	12
6.1 Muskelaktivitet.....	12
6.2 Forventninger, erfaringer og implementerbarhed	13
7. Diskussion	19
7.1 Reducering af muskelaktivitet	19
7.2 Forventninger, erfaringer og implementerbarhed af exoskeletter.....	19
7.3 Metodeovervejelser	20
8. Konklusion	21
9. Perspektivering	21
10. Formidling og publikationer	22
11. Referencer	23
12. Appendiks A	25

1. Forord

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem de to arbejdsmedicinske afdelinger i Region Midtjylland, og en slagterivirksomhed i Danmark.

Projektets er udført på baggrund af en bevilling fra Arbejds miljøforskningsfonden (J.nr. 20195100793) i december 2019.

Resultater, fortolkninger og konklusioner er udarbejdet selvstændig af forskergruppen, men fremlagt og diskuteret i projektets følgegruppe inden afrapportering.

2. Resume

Baggrund

Arbejdet i slagteribranchen er forbundet med høje fysiske krav og øger risikoen for udvikling af skulderlidelser. Tekniske hjælpemidler, såsom exoskeletter, er blevet udviklet med henblik på at reducere den mekaniske eksponering, men få studier har undersøgt effekter og anvendeligheden af exoskeletter direkte på arbejdspladsen. Formålet med undersøgelsen var 1) at undersøge et exoskelets evne til at reducere den mekaniske skuldereksponeering blandt slagteriarbejdere, sammenlignet med en løftehandske og 2) at undersøge slagteriarbejdernes forventninger til og erfaringer med brugen af exoskeletter i det daglige arbejde og vurdere implementerbarhed.

Materialer og metoder

Deltagerne omfattede 26 slagteriarbejdere og deres ledere i en pakkeafdeling på et stort dansk slagteri. Vi brugte et crossover-design til at evaluere effekten af exoskelettet. Muskelaktivitet med og uden exoskelet og løftehandske blev målt og sammenlignet via elektromyografiske sensorer på 5 udvalgte muskler omkring skulderen. Lederes og slagteriarbejders forventninger og erfaringer relateret til brugen af exoskelettet og løftehandsken blev evalueret ved hjælp af data fra semistrukturerede interviews, spørgeskemaer og observation.

Resultater

Ved brug af exoskelet reducerede muskelaktivitet på begge sider for forreste del af Deltoideus med op til 33 %, midterste del af Deltoideus med 10 % og øvre Trapezius med 25 %. Løftehandsken reducerede kun muskelaktiviteten for forreste del af deltoideus (39 %) på højre side og øvre trapezius (12 %), men øgede generelt muskelaktivitet med op til 27 % på venstre side. Forventninger blandt arbejdere og ledere var, at exoskelettet ville reducere den mekaniske eksponering og belastning. Nogle ledere forventede også, at medarbejdere ville kunne håndtere mere vægt, og at behovet for jobrotation kunne reduceres. Nogle af slagteriarbejderne havde en oplevelse af at exoskelettet 'rettede kroppen op', hvilket føltes som en beskyttelse af kroppen og at det reducerede belastningen, mens andre arbejdere ikke oplevede nogen effekt og synes på-og aftagning var for tidskrævende.

Diskussion

Exoskelettet reducerede den mekaniske skuldereksponeering blandt danske slagteriarbejdere. Vi fandt væsentlig lavere muskelaktivitet omkring skulderen ved brug af exoskelettet og muskelaktiviteten var generelt lavere end ved brug af løftehandsken. Der blev observeret meget forskellige forventninger til exoskelettet blandt både ledere og medarbejdere både i forholdt til reduktion af belastning og øget kapacitet/produktion. For at fremme brugen og implementeringen af exoskeletter på danske slagterier, bør forventninger og individuelle hensyn tages i betragtning.

3. English summary

Background

Work in the slaughterhouse industry increase the risk of shoulder disorders due to high occupational mechanical exposures. Assistive devices, such as exoskeletons, have been developed to reduce the mechanical exposures, but few studies have investigated the effects and feasibility of the exoskeletons, when used in a workplace setting. The aims of the study were 1) to evaluate the effect of a shoulder exoskeleton, as compared a lifting glove and 2) to explore managers' and workers' expectations and experiences related to using a shoulder exoskeleton, and evaluate its feasibility at a Danish slaughterhouse.

Materials and methods

The participants included 26 production line workers and their managers at a packaging department at a large slaughterhouse facility. We used a crossover design to evaluate the effects of the shoulder exoskeleton. Electromyography sensors were placed bilateral on 5 shoulder near muscles, and muscle activity with and without a passive shoulder exoskeleton and the lifting glove were measured and compared. Managers' and workers' expectations and experiences related to using a shoulder exoskeleton and the lifting glove were evaluated using data from semi-structured interviews, questionnaires, and on-site observations.

Results

The exoskeleton reduced muscle activity bilaterally for deltoid anterior with up to 33%, deltoid middle with 10 %, and upper trapezius with 25 %. The lifting glove reduced muscle activity for right deltoid anterior (39%) and upper trapezius (12 %), but generally increased left muscle activity with up to 27 %. Expectations among workers and managers were that shoulder exoskeletons would reduce the mechanical exposure and strain. Some managers also expected that workers could handle more weight/ produce more and that the exoskeleton would reduce the need for job rotation. The experience of using the exoskeleton was that it 'straightened the body', and gave a feeling of being guarded by the exoskeleton, and that it reduced strain, but some workers experienced no perceived support or found donning and doffing too time consuming.

Discussion

The shoulder exoskeleton reduced muscle activity in the shoulder among Danish slaughterhouse workers. We generally found lower muscle activity when using the exoskeleton compared to the lifting glove. However different expectations as to what the shoulder exoskeleton should achieve were observed; reduce exposure or enable production goals. This influence the evaluation of the feasibility of using a shoulder exoskeleton in slaughterhouse work. However, in order to facilitate the feasibility of exoskeletons it is important to explicate different expectations and to allow for individual tailoring of its implementation.

4. Baggrund

Muskel-og skeletbesvær (MSB) er hyppigt forekommende og er en af de væsentligste årsager til forringet fysisk helbred i Danmark og den øvrige vestlige verden [1]. I den arbejdende befolkning kan MSB have store individuelle og samfundsmæssige omkostninger i form af øget sygefravær, nedsat arbejdsevne og tidlig tilbagetrækning fra arbejdsmarkedet [2]. Heraf udgør MSB relateret til skulderen den tredje hyppigste symptomklage [3]. Ved arbejdsrelateret skulderbesvær, forstås helbredsproblemer i skulderens muskler, sener og led, hvor arbejdet eller den måde arbejdet udføres på i væsentlig grad bidrager til udvikling eller forværring af smerter og besvær [3, 4]

Forebyggelse af arbejdsrelateret skulderbesvær

På trods af de seneste årtiers teknologiske udvikling og ergonomiske tiltag for at reducere de arbejdsrelaterede mekaniske eksponeringer, rapporterer op mod 30 % af den arbejdende befolkning at deres arbejde er fysisk hårdt [5]. I disse statistikker fylder brancher med manuelt arbejde, såsom slagteribranchen, hvor slagteriarbejdere eksempelvis rapporterer 80 % mindst én mekanisk eksponering. Arbejdet i slagteribranchen er forbundet med høje mekaniske eksponeringer såsom gentagne skulderbevægelser, kraftbetonede arbejdsfunktioner (fx ved opskæring, beskæring, manuel håndtering og pakning af koldt kød), og i mindre grad arbejde med løftede arme [6, 7]. Et dansk studie har vist, at slagteriarbejdere er den mest eksponerede arbejdergruppe i forhold til gentagende skulderbevægelser [8]. De arbejdsrelaterede eksponeringer kan medføre en reduceret blodgennemstrømning til skulderens muskler, sener og led, hvilket kan reducere muskelaktiviteten, øge muskeludtrætningen og medføre kompenserende bevægelsesmønstre, hvilket belaster skulderstrukturene yderligere med ledsagende smerte og nedsat arbejdsevne [9]. Arbejdsrelaterede mekaniske eksponeringer omfatter bl.a. kraftbetonede arbejdsfunktioner, arbejde med løftede arme, repetitive skulderbevægelser og brugen af håndarm-vibrerende værktøj. Sammenhængen mellem arbejdsrelaterede mekaniske eksponeringer og skuldresmerter er undersøgt i flere systematiske reviews [10-12]. I det danske systematiske review fandtes vægtede odds ratioer (OR) mellem 1,44 (95% CI 1,14-1,75) og 1,81 (95% CI 1,37-2,10) for de mekaniske eksponeringer [10]. En lang række ergonomiske tiltag for at nedbringe arbejdsrelaterede mekaniske eksponeringer er allerede gennemført på danske slagterier eksempelvis pladsrotation og anvendelse af løftegrej etc. På trods af dette tyder ovenstående på, at der forsat er arbejdsfunktioner med høj skuldereksposering, hvorfor der er behov for mere viden om, hvordan disse eksponeringer bedst muligt kan reduceres, således skuldresmerter og besvær kan forebygges.

Exoskeletter

Robotteknologien er i rivende udvikling og denne udvikling medfører, at der er muligt at automatisere flere arbejdsfunktioner med høje eksponeringer. Fuldt automatiserede robotter er dog omkostningskrævende og ikke altid brugbare i fødevarerindustrien, hvor fleksibilitet i produktionen ofte er nødvendig. Til flere manuelle arbejdsfunktioner, kan mekaniske exoskeletter koblet til den enkelte medarbejders krop, potentielt være en bedre løsning [13]. Et exoskelet er et bærbart mekanisk metalskelet, som støtter kroppen enten ved hjælp af fjedresystem (passive skeletter) eller ved hjælp af små elektriske motorer (aktive skeletter). Der findes et stigende antal kommercielt tilgængeligt

industri-exoskeletter, som findes fra fuldkrops-exoskeletter (SuitX full body) helt ned til tommeltot størrelse (Thumb Paexo). Overordnet inddeles exoskeletter i passive eller aktive exoskeletter. Passive exoskeletter omdirigerer kroppens eksisterende kræfter og momenter væk fra udsatte led til mere robuste led. Aktive exoskeletter tilfører ekstra energi til det manuelle arbejde, typisk ved hjælp af batteridrevne motorer. Denne form for exoskeletter er dog ikke særlig udbredte, grundet større sikkerhedskrav til de kontrolmekanismer der skal styre funktionen.

Exoskeletter har primært været benyttet indenfor neurorehabilitering [14], men i de senere år har der været øget interesse for at anvende exoskeletter til at reducere mekaniske eksponeringer i arbejdet [13, 15]. Her synes de passive exoskeletter at være mere anvendelige end aktive exoskeletter, fordi de er mere fleksible og de vejer mindre. Effekten af exoskeletter er primært evalueret over kort tid i laboratoriestudier med meget få deltagere [13]. Det er derfor usikkert, hvorvidt disse resultater direkte kan overføres til den måde som arbejdsopgaver udføres på i praksis. Studier i felten har vist, at passive exoskeletter kan medføre en ca. 10-40 % reduktion af maximal voluntary contraction (MVC) ved løfteopgaver, og op til 33 % reduktion af aktiviteten i skuldermuskulaturen ved arbejdsopgaver over skulderhøjde [16]. Derudover viser studier, at man ved brug af exoskeletter kan arbejde med opgaven i længere tid [15, 17]. Antallet af studier, som har undersøgt effekten af exoskeletter er dog yderst begrænsede, hvorfor der efterspørges flere studier til evaluering af effekten af exoskeletter i felten. Vi er ikke bekendt med studier som har undersøgt effekten af exoskeletter hos slagteriarbejdere. Viden om brugervenlighed, udfordringer og risici ved implementering af exoskeletter på arbejdspladsen er ligeledes begrænset [13, 18, 19]. Der er også kun få studier der har inddraget arbejdernes oplevelse (brugervenlighed og komfort) i deres evaluering af exoskeletternes forbyggende potentiale [20-22]. Overordnet set peger de eksisterende studier på, at forsøgspersonerne er positive og oplever en mærkbar effekt af exoskelettet. Dog er nogle barrierer identificeret, og i et nyligt publiceret studie angav 4 ud af 10 forsøgspersoner, at exoskelettet var svært at bruge og bevægelserne følte unaturlige [22]. Et studie gennemført i bilindustrien viste at forsøgspersonerne var skeptiske ift. aspekter som jobrelevans, brugerintention og kvalitet i arbejdet [21]. Andre studier har vist, at brugerne har oplevet en øgning af gener i knæ og ryg, ved brug af exoskelet. [23] I fødevarerindustrien kan der forekomme en række branchespecifikke barrierer, herunder fødevarerikkerhedskrav, krav til renhold, manglende indstillingsmuligheder og fleksibilitet, samt tilgængelighed ved arbejdsfunktioner med pladsrotation, som bør medtages i vurderingen.

Formål

Projektets overordnede formål var at undersøge brugen af mekaniske exoskeletter i slagteribranchen, herunder at undersøge exoskelettets evne til at reducere arbejdsrelaterede mekaniske skulder eksponeringer og eventuelle barrierer for at anvende exoskeletter i det daglige arbejde på danske slagterier.

Projektets specifikke formål var:

1. At undersøge mekaniske exoskeletters evne til at reducere skulder eksponering på danske slagterier.

2. At undersøge slagteriarbejdernes forventninger og erfaringer med at bruge exoskeletter i det daglige arbejde, med henblik på at vurdere implementerbarhed af exoskeletter.

5. Materiale og metode

5.1 Studiepopulation og setting

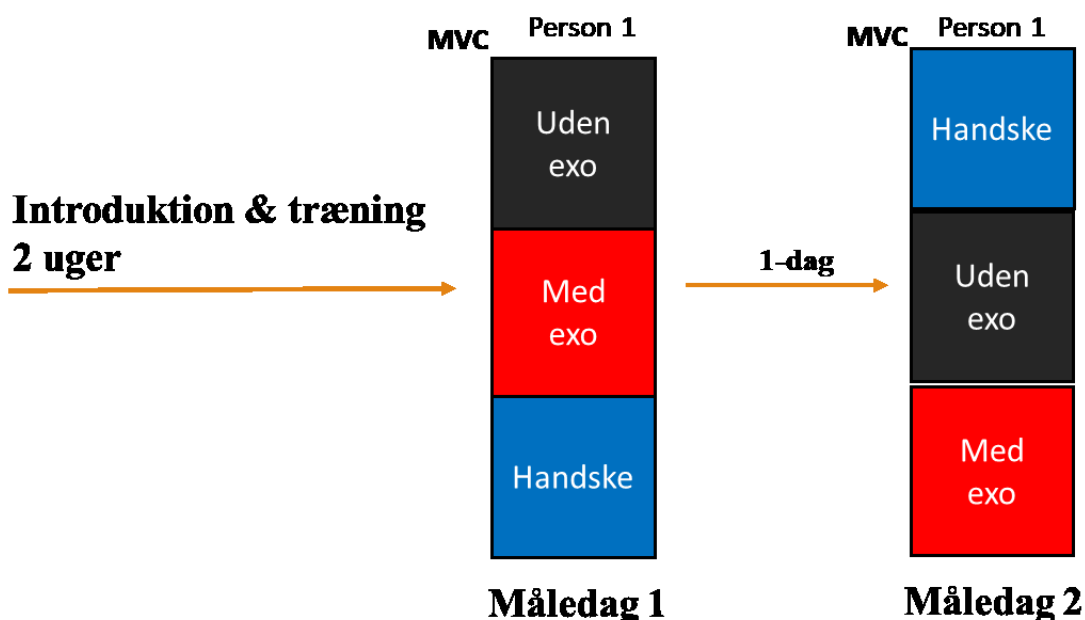
Afprøvning af exoskelettet og den tilhørende dataindsamling foregik fra februar til juni 2021, på et dansk svineslagteri. Slagteriet er inddelt i flere forskellige afdelinger (f.eks. slagtergangen, salt og røg, og pakkeri). Den undersøgte arbejdsopgave foregik i pakkeriet. Pakkeriet var inddelt i to afdelinger (bånd) med et dag- og nathold på begge afdelinger, hvorved der indgår fire forskellige hold i afprøvningen. Slagteriarbejderne (operatørerne) var timelønnede på akkord baseret på produktionen dvs. hvor meget de pakker. I alt 26 mandlige operatører deltog i afprøvningen af exoskelettet (Tabel 1), hvoraf 88% havde været ansat under et år, hvilket er noget højere end i andre afdelinger på slagteriet. Dette skyldtes at der var et nystartet aftenhold. Af de deltagende operatører, indvilgede 20 af dem (12 danske, 5 eritreere og 3 polske) at deltage i interviews om deres oplevelse af exoskelettet. For at inddrage ledelsens perspektiv blev disse også interviewet. Til interviewene med de ikke-dansktalende blev der anvendt tolk. For at få indblik i det daglige arbejde, og i de daglige udfordringer og den kontekst afprøvningen foregik i, var videnskabelig assistent (JF) til stede på slagteriet i hele dataindsamlingsperioden, og gennemførte løbende ad hoc interviews og samtaler og observerede arbejdsgange.

Tabel 1. Karakterisering af deltagerne

Karakteristika	
Deltagere	26
Nationalitet, n (%)	
Dansk	12 (46)
Etre	11 (42)
Polsk	3 (12)
Ansættelse, n (%)	
< 3 mdr.	13 (50)
3-12 mdr.	10 (38)
1-5 år	2 (8)
> 10 år	1 (4)
Alder år, mean (SD)	35.8 (10.2)
Højde cm, mean (SD)	175.6 (8.1)
Vægt kg, mean (SD)	75.8 (13.7)

5.2 Studiedesign

Operatørerne blev taget ud af produktionen enkeltvis og fik en grundig gennemgang af projektets formål og metoder. Her fik de demonstreret exoskeletons funktionalitet, og blev spurgt om de ville deltage. Hvis de ønskede at deltage i projektet blev en samtykkeerklæring underskrevet. Den følgende uge påbegyndte træning med exoskeletonet i deres arbejdsopgave, hvor det gradvist blev implementeret, dvs. at operatørerne arbejdede med skelettet i kortere perioder. I løbet af træningsperioden, blev der justeret og afprøvet forskellige indstillinger og operatørerne blev opfordret til at være mere og mere autonome i deres brug og indstilling af skelettet. Efter to træningsuger, blev der i tredje uge foretaget målinger (figur 1). Her skulle operatørerne påmonteres sensorer og svare på spørgeskemaer om deres opfattede fysiske anstrengelse. For at belyse dag- til- dag variation af målingerne, blev hver operatør målt i to separate dage, men én dags pause imellem. Således blev én operatør målt enten mandag og onsdag, eller tirsdag og torsdag. Fredage blev anvendt til at udføre interviews og udfylde spørgeskemaer, med fokus på anvendelighed.

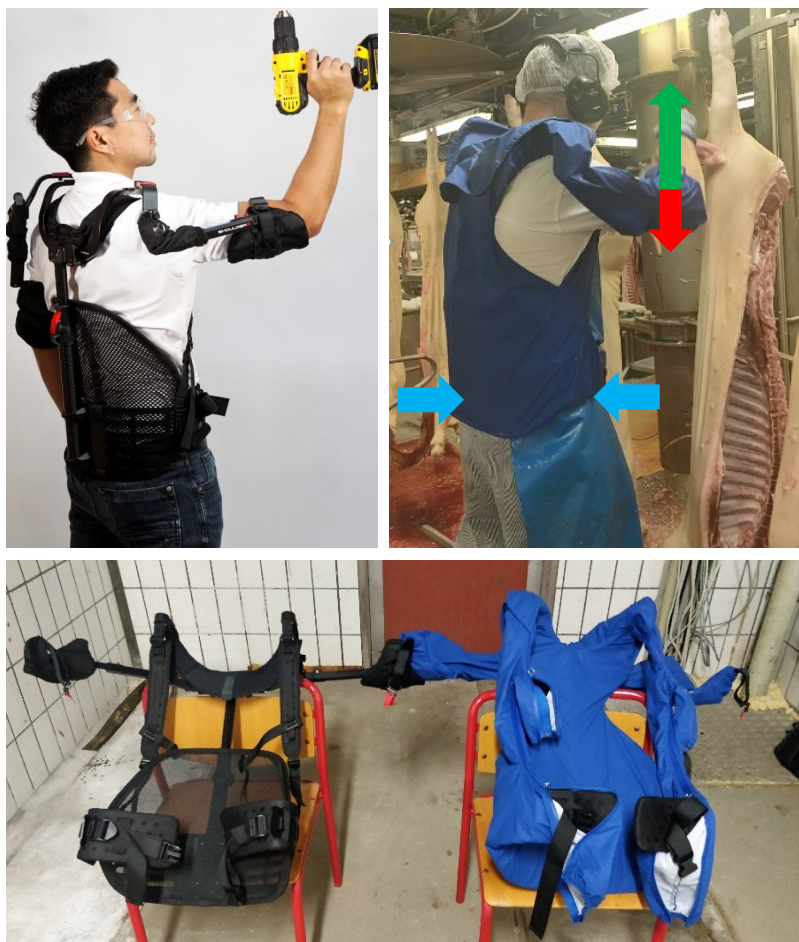


Figur 1 Studie design

5.3 Exoskelet

Det exoskelet vi valgte i projektet, shoulderX fra firmaet SuitX, hører til i gruppen af passive skulder-exoskeletter. For at kunne leve op til hygiejnekrav i fødevarerindustrien fik vi specialudviklet et cover, som exoskeletonet skulle pakkes ind i (Figur 2). Dette medførte ekstra udfordringer for operatørerne (f.eks. øget varmeudvikling og ekstra tid til påtagning) som potentielt kunne påvirke vurderingen af brugervenligheden af exoskeletonet. Valget af netop ShoulderX skyldtes primært at det giver mulighed for indstilling af støttevinkel (Figur 2) samt det relativt lette design. Passive overkropsexoskeletter fungerer overordnet ud fra de samme principper, men der findes designforskelle der kan være

afgørende for om, exoskelettet passer til den specifikke arbejdsopgave, samt til det specifikke individ, og vores vurdering var, at det valgte exoskelet var egnet til vores formål.



Figur 2 Shoulder X med cover

5.4 Arbejdsopgave

I den indledende fase af projektet vurderede vi forskellige afdelinger på slagteriet i forhold til hvor der ville være mest relevant at bruge og teste exoskelettet. Vi valgte at afprøve exoskelettet i pakkeriafdelingen, hvor opgaverne bestod både af tunge løft samt eleverede arme, som er en forudsætning for at få effekt af den måde det testede exoskelet og de fleste andre passive skulderexoskeletter fungerer på. Derudover var løftemængden i arbejdsopgaven inden for de værdier, hvor der ifølge Arbejdstilsynet skal gøres noget aktivt for at reducere belastningen. Af den grund var der også allerede implementeret en såkaldt 'løftehandske' til at afhjælpe kødløftene.

Den undersøgte arbejdsopgave i pakkeriet var en del af en 5-mands-rotationskæde. Afhængigt af rotationsskemaet, arbejdede hver operatør på hver plads 1-1½ time om dagen. Opgaven gik ud på at

operatørerne afmonterede diverse kødstykker der sat fast på en kødkrogsstang (kaldet et 'juletræ' i daglig tale), og smed efterfølgende kødstykkerne ned på et transportbånd, som pakkede dem ind i plastik, for derefter at blive taget imod og pakket ned i kasser manuelt på den anden side af andre operatører (Figur 3). Hver kødkrogsstang kunne holde op til 20 stykker kød, og et stykke kød vejede gennemsnitligt 13kg. En kødkrogsstang var normeret til at blive tømt på lidt over to minutter. De resterende opgaver i rotationskæden var også opgaver der indebar gensidigt gentagende bevægelser, men det var kun afmontering fra kødkrogsstangen, der blev vurderet relevant for test af exoskelettet, grundet det tunge løft og eleverede arme.



Figur 3. Billederne viser arbejdsopgaven med de tre undersøgte scenarier. [A]: Uden nogen form for hjælpemiddel. [B] Med hjælp fra exoskelettet, pakket ind i dertilhørende cover [C]: Med hjælp fra løftehandsken der hænger fra loftet.

Løftehandsken var som sagt allerede installeret med henblik på at afhjælpe de tunge løft ved den valgte arbejdsopgave. Løftehandskens mekanisme var, at den bestod af en håndsløjse der hang i en stålwire fastsat et pulley-system i loftet over kødkrogsstangen. Løftehandsken var udstyret med en knap ved pegefingern, der sendte et trådløst signal til løftemekanismen, når operatøren pressede den ind mod kødet. Herved hejsedes operatørens højre arm opad. Løftehandsken kunne justeres til mellem 0-20kg løft. Det viste sig, at der ikke var alle der brugte løftehandsken, men da den allerede var installeret, og del af den eksisterende arbejdsstation, så valgte vi at lade handsken indgå i studiet. Der er derfor separate målinger og erfaringer i forhold til brug af løftehandsken.

Elektromyografi (EMG)

Muskelaktivitet blev målt med EMG på udvalgte muskler omkring skulderen. EMG kan måle hvor aktiv en muskel er i løbet af udførelsen af en arbejdsopgave, hvilket er et indirekte mål for hvor meget musklen belastes. For at kunne sammenligne med andre studier udvalgte vi muskler omkring skulderkomplekset på højre og venstre side. De udvalgte agonist-muskler omfattede anterior deltoid, middle deltoid og den øverste trapez muskel, hvilke alle hjælper med at løfte armene. Udvalgte antagonist muskler omfattede lattisimus dorsi og pectoralis major, hvilket bruges mere til den modsatte bevægelse, og denne vil potentielt vise ekstra aktivitet, hvis brugen af exoskelet fører til at brugeren skal presse aktivt for at få armene nedad. Forud for EMG-målingerne, skulle forsøgsparticipanterne udføre såkaldte maximum voluntary contractions (MVC) i forskellige kropspositioner. Dette var for at måle den maksimale muskelaktivitet i de forskellige muskler, hvor standardiserede tests også kan bruges til referenceværdier. Herved kan muskelaktiviteten der anvendes i arbejdsopgaven udtrykkes som et tal mellem 0-100% af MVC (%MVC).

Interview spørgeskemaer og observationer

En interviewguide blev udviklet med henblik på at afdække aspekter der relaterer sig til forventningerne til brug af hjælpemidler (exoskelettet og løftehandsken), operatørernes erfaringer med og oplevelse af at bruge hjælpemidlerne (brugervenlighed) og til at evaluere anvendeligheden af hjælpemidlerne (implementerbarheden) i en slagterikonktext. Eksempler på spørgsmål var: *Hvad tænker du at et exoskelet kan betyde for dig, hvis du f.eks. bruger det i 5 år?* (forventninger), eller *hvordan påvirkede exoskelettet dine bevægelser?* (erfaringer med at bruge), samt *hvad vil det kræve at implementere exoskelettet?* (anvendelighed).

Spørgsmålene blev stillet som åbne spørgsmål, og deltagerne blev inviteret til at uddybe aspekter relateret til deres egne forventninger og erfaringer. Det primære fokus var exoskelettet, men da løftehandsken var en del af den eksisterende praksis, blev der draget sammenligninger med denne.

Der blev også anvendt spørgeskemaer til at opfange information om operatørernes erfaringer med og oplevelse af brugen af exoskelettet og løftehandsken. Til dette blev der anvendt to standardiserede spørgeskemaer. Et skema til at opfange den oplevede anstrengelse under arbejdsopgaven, BorgCR10, der beskriver anstrengelsen på en skala fra 0 (ingen anstrengelse) til >11 (maksimal anstrengelse) [24]. Og et andet skema til at undersøge anvendelighed, System Usability Scale (SUS) [25, 26], som fokuserer på i hvilken grad hjælpemidlerne har den ønskede funktion i arbejdsopgaven. SUS er et standardiseret 10 spørgsmåls spørgeskema, med udsagn som deltageren kan være mere eller mindre enig i, såsom: *Jeg fandt systemet unødvendigt kompliceret* eller *jeg vil gerne bruge dette system igen*. Spørgsmålene ender ud i en score fra 0-100, der kan bruges til at vurdere anvendeligheden af et produkt. Under hele dataindsamlingsperioden blev der udført deltagende observation i slagteriet. Formålet var at observere medarbejderne mens de arbejdede, og snakke med dem om forventninger og oplevelse af deres arbejdsmiljø og arbejdsopgaver koblet til brugen af exoskelettet og løftehandsken. Observationerne bestod både af at se, hvordan arbejdet blev udført, gå til hånde i arbejde, samt få mulighed for uformel snak med operatørerne og deres ledere.

5.5 Analyse

Til at analysere EMG-dataene blev hvert kødstykke identificeret vha. af et accelerometer fastsat på pakkerimaskinen, der kunne optage hvornår et kødstykke ramte båndet, således kunne hver arbejdscyklus segmenteres. Under hver arbejdscyklus blev hver muskel udregnet som procent af sin maksimale MVC. Hver af disse arbejdscykluser blev kategoriseret i 10,50 og 90 percentiler af muskelaktiviteten, som repræsenterede de statistiske, gennemsnitlige og højeste værdier af muskelaktivitet under arbejdsopgaven. Disse bliver sammenlignet på tværs af de enkelte muskler mens arbejdet udføres hhv. uden hjælpemiddel, med exoskelet og med løftehandske.

For at analysere effekten af hhv. exoskelettet og løftehandsken, anvendtes "mixed effects models" kontrolleret for hhv. systematiske og tilfældige effekter. Systematiske effekter omfattede måledag (kontinuert), sekvens dvs. rækkefølge af hhv. at arbejde uden hjælpemidler, med exoskelet og med løftehandsken (kategorisk 1-3), antal kødstykker i hver sekvens (kontinuert) og tid siden håndtering af sidste kødstykke (kontinuert). Tilfældige effekter omfattede hhv. deltager, måledag og sekvens (kategorisk (1-3)). Der blev foretaget sensitivitetsanalyser, hvor vi hhv. ekskluderede to operatører med skuldersmerte, to der var venstrehåandede og én operatør med over 10 års erhvervs erfaring som slagteriarbejder. Analyserne blev foretaget i STATA.

For at skabe en bedre forståelse af hvordan exoskeletter indgår i en bredere kontekst på arbejdspladsen og for at kunne evaluere dens anvendelig på slagteriet analyserede vi data fra interviews, spørgeskemaer og observationer (triangulering af analysen). Først analyserede vi lederne og operatørernes forventninger til anvendelsen af hjælpemidler. Herefter relaterede vi disse forventninger til erfaringerne med at anvende hjælpemidlerne i arbejdsopgaven og slutteligt evaluere vi anvendeligheden for exoskelettet i arbejdsopgaven.

6. Resultater

Først præsenteres den målte muskelaktivitet mens arbejdsopgaven blev udført, henholdsvis uden hjælpemiddel, med exoskelet og med løftehandske, hvorefter resultaterne af interviews, observationer og spørgeskema data præsenteres.

6.1 Muskelaktivitet

For de 3 agonist muskler (deltoid anterior, deltoid middle, og upper trapezius) uden brug af hjælpemidler var muskelaktiviteten (10th, 50th, and 90th percentiler %MVC) hhv. 0,52-22,18%, 0,86-16,90% og 1,19-35,72%. For de 2 antagonist muskler (pectoralis major og latissimus dorsi) var %MVCs hhv. 1,30-21,44% og 0,44-6,96%. Percentilerne var generelt højere for højre side muskler i forhold til venstre side (Tabel 1, Appendiks A)

Ved brug af exoskelettet blev alle percentiler %MVC for de 3 bilaterale agonist muskler reduceret. Reduktionen for den 50th percentil for højre deltoid anterior var 29,47%, deltoid middle var 10,22%, og upper trapezius var 22,21%. Tilsvarende værdier for venstre agonist muskler var 26,67%, 8,40%,

og 21,07%. For antagonist musklerne fandtes en lille stigning i %MVCs for højre pectoralis major (50th percentil %MVC 3,29%) og latissimus dorsi (50th percentil %MVC 7,95%), imens vi fandt en reduktion for venstre pectoralis major (50th percentil %MVC 2,85%) og latissimus dorsi (50th percentil %MVC 5,99%). De 3 sensitivitetsanalyser viste forholdsvis små ændringer i %MVCs.

Ved brug af løftehandsken reduceredes alle %MVC percentilerne for højre deltoid anterior (50th percentil %MVC 39,06%) og upper trapezius (50th percentil %MVC 7,11%), hvorimod vi fandt en stigning for højre deltoid middle (50th percentil %MVC 17,47 %). For de 3 venstre agonist muskler steg %MVC (50th percentile %MVC) med hhv. 15,58%, 9,92%, og 0,80%. For antagonist musklerne fandt vi en lille reduktion i %MVC for højre pectoralis major (50th percentil %MVC 23,70%), imens %MVC steg for højre latissimus dorsi (50th percentil %MVC 10,03%). For venstre pectoralis major steg 50th percentil %MVC med 11,70 %, imens 50th percentilen for latissimus dorsi blev reduceret med 22,58 %. De 3 sensitivitetsanalyser viste forholdsvis små ændringer i %MVCs.

Ved sammenligning af effekten af hhv. exoskelettet og løftehandsken fandt vi en større reduktion for højre %MVCs for deltoid middle, upper trapezius, and latissimus dorsi ved brug af exoskelettet i forhold til løftehandsken. For højre pectoralis major var reduktionen af %MVCs større ved brug af løftehandsken. For alle venstre muskler (undtaget latissimus dorsi) fandt vi større reduktioner i %MVCs ved brug af exoskelettet i forhold til løftehandsken.

6.2 Forventninger, erfaringer og implementerbarhed

I følgende afsnit vil vi først præsentere ledelsens og operatøernes forventninger til at anvende hjælpemidlerne. Herefter vil vi præsentere operatøernes erfaringer med at bruge hjælpemidlerne i deres daglige arbejde. Til sidst vil vi evaluere muligheden for implementering af exoskeletter og pege på hvilke aspekter der skal tages i betragtning for at overkomme mulige barrierer ved implementeringen af hjælpemidler.

Ledelsens forventninger

Fra observationer, daglige samtaler og de udførte interviews med både ledelse og operatører, var det tydeligt at krav om vægtgrænser for løft og Arbejdstilsynets inspektioner var vigtige i relationer til forventninger til at anvende hjælpemidler. Herved omhandlede forventningen fra ledelsen primært om, hvordan løftemængden kunne reduceres. Når exoskelettet skulle evalueres i produktionen var de primære spørgsmål om de ville kunne øge produktionen, mindske sygefravær eller reducere antallet af kompensations sager. Overordnet var hjælpemidler set som en investering, forstået på den måde, at det besværet medfører at indføre hjælpemidlet helst skal give en konkret gevinst, som udtrykt ved følgende citat:

'Det er igen det vi skal opveje; er det investeringen værd, hvis vi kun reducerer med 10-15%? Fordi, så får vi stadigvæk stort behov for at rokere meget. Eller opnår vi en vægtreduktion i den daglige

løftemængde, der er så stor, så vi siger, det her det er simpelthen så stor en succes, så vi ser ikke, der er nogle ulemper ved det mere'.

Fra denne leders perspektiv anses implementeringen af hjælpemidler som en afvejning mellem fordele og ulemper. Jobrotation er noget de allerede gør, som en måde at reducere den mekaniske eksponering på, men det anses som en omkostning, da det tager tid når operatørerne rotere mellem arbejdsopgaver. For denne leder vil en reducere på 15% ikke være tilstrækkelig til at de kan mindske rotationen og derved opleves gevinsten som tvivlsom. Forventninger til exoskelettet blev sammenlignet med de reduktioner som de mente løftehandsken skulle give, som beskrevet i følgende citat:

'En løftehandske, der kan du sige, der er det en 100% hjælp. Så derfor, så reducerer vi faktisk den daglige løftemængde til ingenting. Men hvor meget vil det her exoskelet give? Vil det give en reduktion på 5, 10, 15, 20, 25%? ... Hvor meget kan vi reducere vores rotation? Hvor meget kan vi nedsætte den daglige løftemængde hos den enkelte operatør, hvis de kommer til at bruge exoskeletter?'

Set fra lederens perspektiv var forventningen primært, at hjælpemidler til løft skal løse problematikker omhandlende mekanisk eksponering i deres arbejdsopgaver. Når det gælder løftehandsken så sidder den fast i loftet, og løftefunktionen kan i princippet indstilles til kødets vægt, hvorfor lederen i citatet ræsonnerer at løftehandsken herved kan løfte hele kødets vægt. Dette betyder selvfølgelig ikke, at der slet ikke bliver brugt nogen kræfter på at løfte kødet, men det refererer til en logik, hvor spørgsmålet om reducere af mekanisk eksponering kun inddrager et enkelt parameter, nemlig antal kilo løftet, og ikke inddrager arbejdsopgavens kompleksitet, så som organisering af arbejdet, kropsbevægelse, og personlige præferencer. Hvis forventningen til hjælpemidlet er, at det kun skal reducere kilo, kan dette potentielt tale imod dens anvendelighed, især hvis andre aspekter relateret til arbejdsopgaven (organisering af arbejdet, kropsbevægelse, præference) ikke medregnes. Det viste sig dog, at flere af lederne var bekymrede for brugen af løftehandsken. Der var tvivl om, hvorvidt den reelt havde effekt, og nogen var endda overbevist om, at den gjorde mere skade end gavn. Samtidig var brugen af løftehandsken et krav fra virksomheden, så Arbejdstilsynets krav kunne overholdes, som forklaret af en af lederne:

'Nogen bruger den selvfølgelig mere end andre, men hvis det er rigtig, så skal alle bruge det hele tiden. Og jeg må nok indrømme, og det har jeg også indrømmet over for min ledelse, at når jeg selv har svært ved at se meningen med det, så har jeg fandeme også svært ved at true folk til at bruge det - fordi vi pådutter dem noget, der ikke virker'.

Samlet set, var forventningerne til anvendelsen af hjælpemidler i produktionen, at det skulle reducere den mekaniske belastning med flest mulige procent, og da løftemængderne var høje, betragtede lederne hjælpemidler som et spørgsmål om nødvendighed for at imødekomme kravene fra Arbejdstilsynet. Samtidigt var de også bekymrede for, om indførelse af hjælpemidler kunne gøre mere skade end gavn.

Operatørernes forventninger

Fra operatørernes perspektiv så var deres forventninger at firmaet kunne leve op til deres forpligtelser til at reducere fysiske belastninger og arbejdsskader, og at de derved også kunne skabe et bedre arbejdsmiljø for medarbejderne. Ifølge operatørerne indebærer slagteriarbejde en risiko for at blive syg af sit arbejde, og de antog at firmaet ønskede at gøre noget ved dette:

'Jeg tænker, at det forbedrer vilkår. Jeg kan se, at det er mange i garderoben, som har noget støttébånd på kroppen, det er nogle skader af det arbejde. Men selvfølgelig, hvis man non stop laver det samme, så kan man godt komme til skade. ... hvis man tænker rationelt så tænker jeg, det skulle nok hjælpe med at mindske antal af skader og sygefravær'

Operatørerne pegede også på firmaets behov for at overholde løftegrænser, og at et hjælpemiddel potentielt kunne gøre det muligt at øge arbejdstempo eller øge vægten af kødet. Herved var der både en forventning om at firmaet implementerede hjælpemidler for medarbejdernes velvære og arbejdsmiljø, men samtidig havde de også en forventning om at firmaet var interesseret i at indføre hjælpemidler for at kunne overholde løftegrænserne, som illustreret ved følgende citat:

'Mindre arbejdsskader, mindre nedslidning Ja ... Og så tror jeg også, at det hænger sammen med, at de gerne vil tilfredsstille noget sikkerhedshalløjsa og alt det andet, ikke også. De hænger dem også over hovedet (Arbejdstilsynet), ikke også, og pådutter dem ting og sager, ikke også. Og det er deres tiltag til at tilfredsstille deres krav.'

Operatørernes forventninger til at indføre hjælpemidler var dermed, at de skulle afhjælpe de tunge løft og forbedre arbejdsmiljøet, men de havde ikke konkrete forventninger til hvor mange procent de skulle aflaste. De havde også en forventning om, at den aflastning der kunne opnås ville blive omsat til øget produktivitet.

Oplevet anstrengelse under arbejdsopgaven og anvendelighed

I forhold til den oplevede anstrengelse under arbejdsopgaven målt med en BorgCR10 skala, så scorede operatørerne lavest ved brugen af exoskelettet med en score på 2.31, hvor uden hjælpemiddel scorede 0.46 point over. Løftehandsken gik ind og øgede den oplevede anstrengelse 1.29 sammenlignet med exoskelettet (Tabel 2).

Tabel 2. Oplevet anstrengelse

	Borg CR 10 (n=26)	
Hjælpemiddel	Mean	(SD)
Exoskelet	2.3	(1.11)
Løftehandske	3.6	(1.5)
Ingen	2.8	(1.5)

Gennemsnits SUS-scoren for exoskelettet var 9,9 point højere end for løftehandsken og får efter vurderingsskalaen en karakter der er på grænsen mellem at være acceptabel og at være ikke anvendelig. Med en høj standardafvigelse viser det samtidig, at der ikke er enighed om, hvorvidt exoskelettet er anvendelig. Den samme høje standardafvigelse gør sig også gældende ved løftehandsken, dog er gennemsnitsscoren ikke acceptabel. Herved ses det, at der er problematikker der skal løses for at hjælpemidlerne bliver taget godt imod i praksis.

Tabel 3. Anvendelighed

Hjælpemiddel	SUS Score (n=26)		
	Mean	(SD)	Grade
Exoskelet	53.8	(16.3)	D-OK
Løftehandske	43.9	(16.1)	F-poor

Interviews om erfaringer med at bruge hjælpemidlerne

Exoskelettet

Exoskelettet er designet til at efterligne kroppens bevægelser passivt, og operatørerne oplevede at de havde kontrol over deres bevægelsen, uden at der kom uventede bevægelser. De udfordringer de oplevede med exoskelettet var primært relateret til oplevelse af at det tog lang tid at tage af og på, hvilket blev vanskeliggjort det projektudviklede cover, som også skulle monteres. Endvidere oplevede flere problemer med at exoskelettet var varmt og dermed ubehageligt at bruge, at det havde en dårlig pasform og at de følte sig begrænsede i deres bevægelsesmuligheder. I pakkeriafdelingen er temperaturen en konstant 5° celcius, alligevel var der nogle af operatørerne som rapporterede gener med varme, specielt hvis arbejdstempoet var højt. Her har coveret højst sandsynligt haft en forstærkende effekt, da den begrænser varme konvektionen væk fra kroppen. De fleste af operatørerne følte, at exoskelettet var komfortabelt, at det sat godt til og fulgte kroppen fint. Den støttende effekt af exoskelettet til skulderen var mere tvetydig. Nogle følte, at den hjalp meget, mens andre ikke følte, at den hjalp overhovedet. Overraskende nok, følte mange at den primære effekt var den oplevede rygstøtte ved brug af exoskelettet, som følgende citat illustrerer:

'Den er så stram, at kroppen bliver holdt'

Som nævnt, så føler andre operatører derimod, at de mistede noget af deres bevægelsesfrihed, og foreslog ændringer der kunne gøre den bedre i så henseende:

'Du kunne tage armene af og putte den på os. Fordi så kan vi ikke løfte forkert. Den giver noget støtte til ryggen og retter din holding. Din ryg er lige og du kan ikke bøje dig forover, hvilket kunne være genialt'.

Følelsen af rygstøtte giver tilsyneladende en følelse af at kroppen er bedre beskyttet mod de risici som de tunge løft giver, ved at man forhindres for at 'løfte forkert'. Denne erfaring af at exoskelettet

beskytter kroppen, hænger dermed ikke tæt sammen med exoskelettets primære funktion i fht skulderbelastning.

Løftehandsken substantielt hurtigere af tage af og på, det tog kun et par sekunder, hvorimod tiden til exoskelettet var mellem 45 – 90 sekunder. Det kan forekomme som kort tid, men i løbet af en arbejdsdag, hvor operatørerne skal frem og tilbage fra pause op til 5 gange dagligt, bliver det en barriere for at bruge exoskelettet, En af lederne forklarer, hvorfor tidsaspektet kunne være et problem.

'Jeg håber, vi kan finde en løsning, hvor det fungerer. Men ja, jeg ved sgu ikke, om jeg er skeptisk. Altså, et eller andet sted, jeg ved, hvordan de der processer fungerer, hvor vi har været inde i en hel masse ting. Så bliver det dømt lidt til døden, og så får det bare lov til sådan at ebbe ud i sandet lidt. Og jeg synes jo, det er ærgerligt, hvis det er noget, der fungerer. Men jeg tror, den der (exoskelettet) får man svært ved at få medarbejderne med på pga. tiden, fordi de er på akkord.'

Tidsaspektet handler dermed ikke om tid i sig selv, men om løn, da af og påtagning af exoskelettet fremstår som en ekstra opgave der tager tid fra selve arbejdsopgaven. Ledelsen håbede der kan findes en løsning på problemerne med tiden, da tiden det tager at tage exoskelettet på kan underminere anvendeligheden af exoskelettet. I dette projekt påvirkede det ikke operatørernes løn. Hvis exoskelettet skal implementeres, kan det ende ud i et spørgsmål om hvem der skal betale. Fra citatet ovenover troede lederen ikke på, at operatørerne vil bruge det, hvis det oplevede at det gik ud over deres løn. Samtidig er firmaet heller ikke interesseret i omkostninger, hvis produktion sænkes. Dog havde flere af operatørerne ikke noget problem med tiden der anvendes ved at tage det af og på. For en beskrevet som:

'Jeg tager den jo bare på som et stykke tøj, det var bare click, click her og så lige lyne et par lynlåse og lidt, og så har du den på. Jeg synes ikke, det er svært, jeg gør det alene, ikke. Jeg forstår ikke, hvorfor man skal have hjælp til det.'

Løftehandsken

Der var delte meninger om den allerede eksisterende løfthandske. Nogle af operatørerne sagde, at de følte den hjalp dem, når de 'kastede' kødet over på båndet/ maskinen, men de oplevede en forsinkelse i deres bevægelser når de tog fat i og slap kødet. Herved følte de, at deres koordination blev forstyrret og kødet blev kastet forkert, som udtryk ved følgende citat:

'Den hjælper, men den forsinker. Den hjælper når du skal løfte kødet, men den hjælper ikke når du skal kaste kødet, så kommer den det forkerte sted. Den forsinker faktisk, den hjælper noget, men der er en forsinkelse i den.'

En anden problematik som operatørerne nævnte, var hvordan løftehandsken påvirkede deres krop. Operatørerne beskrev, hvordan løftehandsken forårsagede uventede bevægelser, og at de derfor tog den på, men satte den ud af funktion, som illustreret i følgende citat:

'Jeg skruer den ned på 0, og det gør jeg bevidst, fordi så ved jeg, at jeg ikke får de der uventede træk. Men så er vi også ude i, er det så ikke også noget pjat, at jeg faktisk har den på, når jeg egentlig ikke får fuld valuta ud af den. (..) Jeg ved godt, så siger man, jamen, så snyder du kun dig selv. Ja, men jeg sparer også mig selv for et unødigt træk.'

Selvom operatørernes erfaring var, at løftehandsken hjalp lidt til i arbejdsopgaven, følte de fleste af operatørerne at den ikke reducerede belastningen, og at den faktisk gav uønskede bevægelser eller forkerte træk i kroppen på andre måder, og at den derfor besværliggjorde arbejdsopgaven i stedet for at afhjælpe belastningen.

Muligheder og barrierer for implementering af hjælpemidler

Lederne betragtede exoskelettet som et værktøj der kunne reducere den mekaniske eksponering ved tunge, gentagne løft. Samtidig pegede de på vigtigheden af at se implementering af tekniske hjælpemidler som en proces, der kræver at dem der skal bruge hjælpemidlerne inddrages og at der er mulighed for tilpasning til den enkelte opgave og den enkelte medarbejder. En af operatørerne pegede på at det var vigtigt at have muligheden for at justere exoskelettet eller på den maskine eller arbejdsstation, den skal indgå i, hvis exoskelettet skulle fungere optimalt. Som forklaret i følgende citat:

'Jeg synes ikke, at den har den rigtige funktion. Jo, hvis du har 90 grader ud fra skulderne og op, så er det rigtig godt. Altså, hvis vi kører juletræet op i højden og bruger den oppe i højden, så er det suverænt. Men hvor vi bruger den mest fra knæhøjde til mavehøjde, da har det ingen effekt.'

Ud fra denne operatørs erfaring kunne anvendeligheden af exoskelettet ikke vurderes som enten god eller dårlig, da spørgsmålet er afhængig af om det er mulighed for at justere den, og hvordan arbejdsopgaven er organiseret. Ifølge operatøren i citatet, vil en øgning af højden fra der, hvor de tager kødstykkerne, forbedre funktionen af exoskelettet, for ham. En større anvendelighed mht exoskelettet ved at hæve højden der skal løftes fra, vil dog være i modstrid med hvad der ellers anbefales, da man generelt anser arbejde med løftede arme, som en af risikofaktorerne for skulderlidelser, og derfor må det samlede arbejdsmiljø tages i betragtning. Mange af operatørerne erfarede at kravet om at bruge løftehandsken, øgede deres oplevede belastning, og anså derfor løftehandsken som meningsløs, som en af operatørerne udtrykker i følgende citat:

'Jeg bruger ikke handsken, og så er der ikke noget(ubehag). Så kommer der en eller anden leder over og siger jeg skal bruge den. Så bruger jeg den i noget, og så kan jeg allerede mærke det(ubehag), i både håndled og skulder. Så jeg forstår det ikke, jeg forstår godt med reglerne og sådan noget, men når det gør os langsommere og gør at vi får ondt, giver det ikke meget mening'

Implementeret på denne måde hjælper løftehandsken med overholdelse af regulativer, men den hjælper ikke med at reducere den mekaniske eksponering, som forklaret af operatøren. Modsat, følte de fleste af operatørerne, at exoskelettet til en vis grad reducerede den mekaniske eksponering og beskyttede og afrettede deres krop, og at exoskelettet dermed kunne reducere risikoen for skader ved løft. For en af lederne var anvendeligheden af hjælpemidlerne, bundet op på en betragtning af det bredere arbejdsmiljø på slagteriet. Det var både vigtigt at reducere den mekaniske eksponering, men også at overholde regulativer, som forklaret i følgende:

'Når de først har det på(exoskelettet), er det ikke sådan de bare kan tage hurtigt af og på igen. Så har du det på, og så kan jeg se det hjælper dig. Så kan jeg føle mig rolig, at de får hjælp og jeg kan se fra en afstand, om de bruger det, eller ej. I stedet for at de skruer den ned(handsken), og så ligner det at de bliver hjulpet, men i virkeligheden får de ingenting. De snyder dem selv og de snyder mig. Jeg har ansvaret, men det er dem det går udover.'

Ud fra lederes og operatørers forventninger og erfaringer handler implementering af hjælpemidler dermed både om at hjælpe, aflaste og beskytte operatørerne, samt om at overholde regler om løftegrænser. Analysen viser, at implementering af exoskeletter og andre hjælpemidler er en del af en kompleks kontekst på en slagteriarbejdsplads, hvor hensyn til både arbejdsmiljøkrav og produktivitet er afgørende, og at specifikke hjælpemidler også bør kunne skræddersys den enkelte arbejdsopgave og de enkelte medarbejdere.

7. Diskussion

7.1 Reducering af muskelaktivitet

Exoskelettet reducerede muskelaktiviteten for både venstre og højre agonist muskler med op til 33 %, og påvirkede i mindre grad muskelaktiviteten for antagonist musklerne. Brugen af løftehandsken reducerede muskelaktiviteten for 4 ud af 10 muskler. Ved sammenligning af de to hjælpemidler fandtes generelt lavere muskelaktivitet ved brug af exoskelettet i forhold til løftehandsken. Vores resultater er sammenlignelige med de foreliggende studier af exoskeletters effekt på muskelaktiviteten. I et systematisk review fra 2022 konkluderes det, at exoskeletter kan reducere muskelaktiviteten i musklerne deltoid anterior, deltoid middle og trapezius, hvilket dog primært er baseret på laboratoriestudier [16]. For deltoid anterior fandtes en statistisk signifikant reduceret muskelaktivitet (50th percentile) på 34 % hos arbejdere (N=12) i en bilmonteringsfabrik [27], imens et studie fandt en 38-40 % reduktion hos frugtplantagearbejdere (N=8) [28]. For trapezius musklen har et studie fundet en statistisk signifikant reduceret muskelaktivitet (50th percentil) på 18 % hos arbejderne i bilmonteringsfabrikken. I vores studier fandt vi reducereinger på hhv. 33% for anterior deltoid, 10 % for middle deltoid og 25 % for trapezius.

7.2 Forventninger, erfaringer og implementerbarhed af exoskeletter

Vi undersøgte vi forventninger og erfaringer med at bruge et skulderexoskelet i slagteriindustrien, samt implementerbarheden i deres arbejdsopgave. Dette er blevet nuanceret ved at sammenligne exoskelettet med en eksisterende løftehandske. Vi fandt, at de generelle forventninger til exoskelettet var, at den ville reducere den mekaniske eksponering og mindske belastningen for operatørerne. Enkelte ledere forventede, at operatørerne ville kunne håndtere mere vægt og at exoskelettet herved kunne reducere behovet for jobrotation. Under arbejdet med exoskelettet var det overordnet opfattelsen, at den støttede godt og reducerede belastningen fra løftene. Men nogle operatører opfattede ingen støtte ved at bruge exoskelettet og anså test og implementering af exoskelettet som

spild af tid. Når hjælpemidlerne vurderes i forhold til de eksisterende praktiser på arbejdspladsen, fandt vi, at de gav operatørerne en oplevelse at de brugte deres krop anderledes, end når de arbejdede uden hjælpemidler. De oplevede derfor ikke blot at de fik hjælp til løft, men at de også fik uønskede træk i musklerne, eller at de blev beskyttet, og at de ikke kunne løfte forkert. Derfor bidrager hjælpemidler ikke udelukkende med at reducere den mekaniske eksponering, de kan også potentielt ændre den måde arbejdet bliver udført på, og hvordan kroppen bevæger sig. Hvilket enten kan resultere i en følelse af støtte eller skade kroppen. Disse aspekter bør derfor medtages ved implementering af exoskeletter og andre tekniske hjælpemidler på arbejdspladsen.

Anvendelighed i slagteriindustrien

Arbejde i slagteriindustrien fokuserer på produktion, dvs. på de antal kilo kød der går igennem produktionen på en dag. Denne proces er løbende blevet optimeret for at reducere tidstab og øge produktion. Dette resulterer potentielt i få muligheder for variation, mere gentagende arbejde, og en større forekomst af korte arbejdscykluser. Øjensynligt, øger dette også behovet for, og effekten af exoskeletter, hvis en arbejdsopgave med en kumulative effekt gennem dagen er høj. Dette vil dog kunne føre til mindre rotation og øget løftemængde. Da jobrotation, diversificering af arbejdsopgaver og reduktioner af løftemængder er anbefalet til at forbedrer arbejdsforhold, kan det derfor synes kontraproduktivt at implementere exoskeletter. Til trods for, at mange forskellige arbejdsopgaver på slagteriet blev vurderet i forhold til nærværende studie, så havde de fleste begrænset eksponering for arm-elevation, da netop denne faktor er forsøgt reduceret ved andre tiltag over årene. I takt med at exoskeletter bliver mere udviklet og udbredt, bliver det derfor en vigtig opgave at matche dem til de rette arbejdsopgaver, for at få udbytte af dem. Derudover har dette projekt vist, at organisatoriske strukturer, såsom arbejdspladsindretning, akkord, organisering af pauser, samt forventninger til hvad hjælpemidler skal kunne gøre, har en indflydelse på, hvordan exoskeletter, og hjælpemidler i det hele taget, bliver modtaget på arbejdspladser, og herved på deres effekt.

7.3 Metodeovervejelser

En af de store fordele ved nærværende projekt er, at målinger og dataindsamling er foretaget ude i en rigtig arbejdssituation i produktionen, i stedet for i simulerede laboratorieforhold. Dette gør, at resultaterne er mere valide i forhold til vurderingen af, hvad et exoskelet kan udrette i alle de komplekse situationer exoskelettet spiller ind, ved en eksisterende arbejdsopgave, og som har stor betydning for at det bliver en succes. Yderligere, så er styrken ved designet at det omfatter "cross-over" designet, hvor operatørernes eksponering undersøges med og uden hjælpemidler. hhv. pilotstudiet, tekniske målinger på 26 operatører og 2-ugers træning med exoskelettet forud for målingerne. Projektet er dog begrænset ved at det kun undersøger relativt akutte effekter og ikke belyser exoskelettets indvirkning over længere tid, både med hensyn til hvilken indvirkning det kunne have på arbejdsmiljøet og på operatørernes krop, samt risiko for MSB og smerter. En anden begrænsning er, at 85 % af operatørerne havde under 1 års erhvervserfaring som slagterarbejder, hvilket kan øge operatørernes mekaniske eksponering særlig inden for de første 3 mdr. af deres ansættelse. Effekten af exoskelettet på nyansatte og arbejdere med skuldersmerte kan være anderledes

end arbejdere med mere erfaring og uden skuldersmerte. Løftehandsken er et allerede eksisterende hjælpemiddel, med en forudgående historie i organisationen. Exoskelettet var omvendt nyt og spændende. Derudover har projektgruppen stået for implementeringen af exoskelettet, og det kan have skævvredet resultaterne til at deltagerne har rapporteret mere positivt om exoskelettet. På denne baggrund kan det diskuteres, hvorvidt sammenligningen mellem løftehandsken og exoskelettet i projektet er fair.

Generalisering

Dette projekt er begrænset ved, at det kun har været testet et enkelt kommercielt exoskelet, samt at det kun er enkelte arbejdsopgaver der var anvendelige og derfor er afprøvet i slagteriindustrien. Dog viser resultaterne, at der forekommer reduktioner på muskelaktiviteten i skuldekomplekset, hvis exoskelettet støtter i noget af arbejdsopgaven, også ude i den 'virkelige' verden og ikke kun i kontrollerede laboratorie forhold. Dette kan indikere positive effekter på MSB over længere tid, men er samtidig er de positive effekter afhængig af mange andre faktorer på arbejdsmarkedet. Ligeledes viser resultaterne også at anvendelse af hjælpemidler kan have u hensigtsmæssige konsekvenser som var tilfældet ved løftehandsken. Anvendelse af hjælpemidler i produktionen bør derfor løbende evalueres.

8. Konklusion

I dette projekt har vi undersøgt effekt, samt implementerbarhed af et skulderexoskelet i slagteriindustrien ved at måle muskelaktivitet, samt belyst deltagernes forventninger og deres erfaringer med at bruge exoskelettet. Vi fandt overordnet positive resultater ved en reduceret muskelaktivitet ved anvendelsen af exoskelettet, hvilket indikerer en lavere mekanisk belastning ved brug af exoskelettet. Vi fandt desuden generelt lavere muskelaktivitet og højere anvendelighed ved brug af exoskelettet, sammenlignet med et allerede eksisterende hjælpemiddel i form af en løftehandske. Vedrørende implementerbarhed kan det konkluderes, at succesen ved brugen af et exoskelet afhænger af forventningerne til hvad exoskelettet skal kunne udrette, samt til de erfaringer der er med at bruge det. Dermed er det vigtigt at adressere de barrierer og potentialer der er ved at bruge exoskelettet på en arbejdsplads, samt at gøre det muligt at lave individuel tilpasning og anerkende at firmaet, ledere og operatører kan have forskellige forventninger til og oplevelser med brugen, og at dette er vigtigt at tage højde for ved implementering.

9. Perspektivering

Fysiske belastninger i arbejdsmiljøet er fortsat en væsentlig udfordring i mange jobs, og forebyggelse af arbejdsrelateret skulderbesvær er vigtigt for at undgå tidlig tilbagetrækning fra arbejdsmarkedet. Arbejdet i slagteribranchen er forbundet med høje mekaniske eksponeringer såsom kraftbetonede arbejdsfunktioner, repetitive skulderbevægelser og i mindre grad arbejde med løftede arme. Projektet

bidrager med viden der er relevant for arbejdsmiljøarbejdet i slagteribranchen, da det viser, at passive exoskeletter kan reducere mekaniske belastninger blandt slagteriarbejdere i deres daglige arbejde, hvilket ikke er blevet vist tidligere. Dette indikerer at exoskeletter udgør et alternativ til allerede eksisterende løsninger til reducere mekaniske eksponeringer. Projektet viser dog også, at det er en kompleks opgave at implementere exoskeletter i den daglige produktion. Der kan være meget forskellige forventninger til hvad exoskeletter kan bidrage med og disse bør anerkendes ved implementering. Derudover bør der tages højde for specifikke forhold, eksempelvis den konkrete arbejdsplads' indretning og arbejdsmiljøforhold, hvis exoskeletter med succes skal implementeres og anvendes. Hvorvidt exoskeletterne på længere sigt kan forbygge forekomst af arbejdsrelateret skulderlidelser, og dermed kan erstatte andre former for forebyggende indsatser, eksempelvis rotationer, bør undersøges i fremtidige longitudinelle studier.

10. Formidling og publikationer

Oplæg på konference og møder

- Mekaniske exoskeletter til nedbringelse af skulderbelastninger i slagteribranchen Arbejdsmiljøforskningsfondens årskonference 2022.
- Mekaniske exoskeletter til nedbringelse af skulderbelastninger i slagteribranchen CRECEA A/S - Sundt og sikkert arbejdsmiljø 2023
- Kan exoskeletter forebygge ? Oplæg Dansk Industris årlige arbejdsmiljøkonference 2021
- Upper extremity exoskeletons to reduce shoulder strain in Danish slaughterhouses - a field study, NFA 2021

Artikler

- Exoskeletterne kommer – måske (Arbejdsmiljø magasinet artikel udkommer den 15. feb.)
- Effects of a passive shoulder exoskeleton on muscle activity among Danish slaughterhouse workers (Applied Ergonomics – under review)
- The use of exoskeletons in a Danish slaughterhouse– enhancing physical capacity or reducing the physical strain? (WORK Submittes i marts 2023)

Artikler fremsendes, når de er publiceret

11. Referencer

1. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*, 2017. **390**(10100): p. 1211-1259.
2. Bevan, S., Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 2015. **29**(3): p. 356-73.
3. Roos, E., et al., Forebyggelse af skader og sygdomme i muskler og led. 2015, Vidensråd for Forebyggelse: København.
4. Luttmann, A., M. Jäger, and B. Griefahn, World Health Organization, Protecting Workers' Health Series No. 5, Preventing musculoskeletal disorders in the workplace. 2003.
5. Belastningsindeks for psykisk arbejdsmiljø og muskelskeletbesvær. 2018, Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø.
6. Sundstrup, E., et al., High intensity physical exercise and pain in the neck and upper limb among slaughterhouse workers: cross-sectional study. *BioMed research international*, 2014. **2014**: p. 218546.
7. Frost, P. and J.H. Andersen, Shoulder impingement syndrome in relation to shoulder intensive work. *Occupational and environmental medicine*, 1999. **56**(7): p. 494-498.
8. Dalbøge, A., et al., Upper arm elevation and repetitive shoulder movements: a general population job exposure matrix based on expert ratings and technical measurements. *Occupational and environmental medicine*, 2016. **73**(8): p. 553-560.
9. Zakaria, D., et al., Work-related cumulative trauma disorders of the upper extremity: navigating the epidemiologic literature. *American Journal of Industrial Medicine*, 2002. **42**(3): p. 258-269.
10. Dalbøge, A.S., S.W.; Frost, P.; Andersen J.H., Association between occupational mechanical exposures and subacromial impingement syndrome: a reference document. 2018, Labour Market Insurance: Copenhagen
11. van Rijn, R.M., et al., Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder - a systematic literature review. *Scand J Work Environ Health*, 2010. **36**(3): p. 189-201.
12. van der Molen, H.F., et al., Work-related risk factors for specific shoulder disorders: a systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med*, 2017. **74**(10): p. 745-755.
13. de Looze, M.P., et al., Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 2016. **59**(5): p. 671-681.
14. Molteni, F., et al., Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation: Narrative Review. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 2018. **10**(9 Suppl 2): p. S174-S188.
15. Butler, T. and J.C. Gillette, Exoskeletons Used as a PPE for Injury Prevention. *Professional safety*, 2019. **64**(03): p. 32-37.
16. Moeller, T., et al., Effects of Upper-Limb Exoskeletons Designed for Use in the Working Environment - A Literature Review. *Front Robot AI*, 2022. **9**: p. 858893.
17. Bosch, T., et al., The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. 2016. p. 212-217.
18. Hill, D., et al., What are User Perspectives of Exoskeleton Technology? a Literature Review. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 2017. **33**(2): p. 160-167.
19. He, Y., et al., Risk management and regulations for lower limb medical exoskeletons: a review. *Medical devices (Auckland, N.Z.)*, 2017. **10**: p. 89-107.

20. Abdoli-E, M., M.J. Agnew, and J.M. Stevenson, An on-body personal lift augmentation device (PLAD) reduces EMG amplitude of erector spinae during lifting tasks. *Clinical biomechanics* (Bristol, Avon), 2006. **21**(5): p. 456-465.
21. Spada, S., et al., Investigation into the Applicability of a Passive Upper-limb Exoskeleton in Automotive Industry, in *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy. 2017.* p. 1255-1262.
22. Huysamen, K., et al., Assessment of an active industrial exoskeleton to aid dynamic lifting and lowering manual handling tasks. *Applied Ergonomics*, 2018. **68**: p. 125-131.
23. Abdoli-E, M. and J.M. Stevenson, The effect of on-body lift assistive device on the lumbar 3D dynamic moments and EMG during asymmetric freestyle lifting. *Clinical biomechanics* (Bristol, Avon), 2008. **23**(3): p. 372-380.
24. Williams, N., The Borg Rating of Perceived Exertion (RPE) scale. *Occupational Medicine*, 2017. **67**(5): p. 404-405.
25. Bangor, A., P.T. Kortum, and J.T. Miller, An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2008. **24**(6): p. 574-594.
26. Schnall, R., H. Cho, and J. Liu, Health Information Technology Usability Evaluation Scale (Health-ITUES) for Usability Assessment of Mobile Health Technology: Validation Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 2018. **6**(1): p. e4.
27. Iranzo, S., et al., Ergonomics assessment of passive upper-limb exoskeletons in an automotive assembly plant. *Appl Ergon*, 2020. **87**: p. 103120.
28. Wang, H.-M., D.K.L. Le, and W.-C. Lin, Evaluation of a passive upper-limb exoskeleton applied to assist farming activities in fruit orchards. *Appl Science*, 2021. **11**(2): p. 757-770.

12. Appendiks A

Tabel 1. Muskelaktivitet ved hhv. brug af ingen hjælpemidler, exoskelet og løftehandske (N=26)

Perce n- tiles	Without exoskeleton and lifting glove				Exoskeleton						Lifting glove						Comparing the exoskeleton with the lifting glove			
	Left shoulder		Right shoulder		Left shoulder			Right shoulder			Left shoulder			Right shoulder			Left shoulder		Right shoulder	
	% MVC	95% CI	% MVC	95% CI	% MVC	95% CI	% change	% MVC	95% CI	% change	% MVC	95% CI	% change	% MVC	95% CI	% change	Difference in %MVC	95% CI	Difference in %MVC	95% CI
DELTOID ANTERIOR																				
10th	0.64	0.46	0.52	0.37	0.46	0.27	28.13	0.35	0.20	32.69	0.81	0.61	26.56	0.39	0.23	39.06	-0.35	-0.45	-0.04	-0.12
		0.82		0.66		0.65			0.51			0.98		0.54				-0.24		0.51
50th	4.80	3.71	4.92	3.86	3.52	2.42	26.67	3.47	2.42	29.47	5.50	4.38	15.58	3.12	2.00	36.59	-1.98	-2.41	0.35	-1.16
		5.90		6.00		4.63			4.52			6.62		4.25				-1.55		0.85
90th	19.18	15.58	22.18	18.50	17.70	14.07	7.72	20.98	17.24	5.64	20.98	17.30	9.39	18.70	14.93	15.69	-3.28	-4.64	2.23	0.96
		22.77		25.85		21.32			24.65			24.67		22.46				-1.94		3.52
DELTOID MIDDLE																				
10th	0.86	0.66	1.98	1.61	0.84	0.65	2.33	1.87	1.50	5.56	0.92	0.72	6.98	2.39	2.00	20.71	-0.08	-0.15	-0.52	-0.73
		1.05		2.34		1.04			2.24			1.11		2.77				0.01		-0.31
50th	2.62	2.03	5.38	4.39	2.40	1.81	8.40	4.83	3.83	10.22	2.88	2.30	9.92	6.32	5.29	17.47	-0.48	-0.71	-1.49	-2.00
		3.20		6.36		2.99			5.83			3.45		7.35				-0.25		-0.97
90th	8.95	6.93	16.90	13.03	8.81	6.53	1.56	16.50	12.48	2.37	10.16	7.84	13.52	16.89	12.79	0.06	-1.35	-2.30	-0.39	-2.03
		11.31		20.76		11.08			20.54			12.48		22.98				-0.40		1.28
UPPER TRAPEZIUS																				
10th	1.19	0.96	2.95	2.36	0.91	0.68	22.88	2.21	1.61	25.42	1.13	0.89	4.24	2.59	1.97	12.20	-0.22	-0.31	-0.39	-0.69
		1.42		3.55		1.14			2.81			1.36		3.21				-0.12		-0.08
50th	5.04	3.98	11.39	8.74	3.97	2.89	21.07	8.86	6.19	22.21	5.07	3.97	0.80	10.39	7.68	7.11	-1.10	-1.60	-1.53	-2.50
		6.10		14.04		5.05			11.54			6.17		13.10				-0.62		-0.55
90th	17.19	14.09	35.72	27.32	14.08	10.91	18.09	31.72	23.26	11.20	16.82	13.57	2.15	34.99	26.43	2.04	-2.74	-4.38	-3.27	-6.14
		20.28		44.13		17.23			40.18			20.07		43.55				-1.11		-0.40
PECTORALIS MAJOR																				
10th	1.94	1.03	1.30	0.98	1.94	1.06	0.01	1.29	0.97	0.77	2.01	1.09	3.61	1.08	0.75	16.92	-0.07	-0.29	0.21	0.07
		2.86		1.62		2.90			1.62			2.97		1.41				0.22		0.35
50th	7.01	4.35	5.78	4.04	6.81	4.14	2.85	5.97	4.21	3.29	7.83	5.15	11.70	4.41	2.62	23.70	-1.02	-1.57	1.56	0.78
		9.68		7.52		949			7.72			10.52		6.21				-0.47		2.33
90th	19.98	14.46	21.44	15.99	18.89	13.37	5.46	22.21	16.75	3.59	22.27	16.71	11.46	19.72	14.21	7.98	-3.38	-4.63	2.48	1.01
		25.49		26.89		24.42			27.37			27.83		5.23				-2.12		3.96
LATISSIMUS DORSI																				
10th	0.44	0.18	1.30	0.92	0.39	0.12	11.36	1.39	1.00	6.92	0.43	0.13	2.27	1.43	1.03	10.00	-0.04	-0.31	-0.04	-0.19
		0.70		1.69		0.67			1.77			0.73		1.82				0.25		0.11
50th	2.17	0.52	3.39	2.67	2.04	1.39	5.99	3.66	2.71	7.95	1.68	1.01	22.58	3.73	2.78	10.03	0.36	-0.05	-0.07	-0.34
		2.76		4.23		2.68			4.61			2.35		4.68				0.75		0.21
90th	6.16	4.53	6.93	4.93	5.83	4.18	5.36	7.52	5.64	8.51	5.60	3.93	9.09	7.62	5.72	9.96	0.23	-0.37	-0.10	-0.70
		7.79		8.59		7.48			9.40			7.27		9.51				0.84		0.51