

Projekttitel	Dnr
Smarta kläder visualiserar risker i arbetet	150039

Projektledare
Jörgen Eklund

Innehåll:

1. Projektets bakgrund, syfte och förväntat resultat
2. Projektets genomförande
3. Uppnådda resultat
4. Genomförda insatser för att resultaten ska komma till praktisk användning
5. Publikationer, presentationer och annan spridning inom projektets ram



Slutrapport: **Smarta kläder visualiserar risker i arbetet**, Dnr 150039.

Jörgen Eklund, Farhad Abtahi, Jose Diaz, Mikael Forsman, Kaj Lindecrantz, Ke Lu, Fernando Seoane, Liyun Yang

Enheten för ergonomi
Skolan för teknik och hälsa
KTH

Populärvetenskaplig sammanfattning

Idag görs riskbedömning av belastningsproblem genom att arbeten och arbetsplatser observeras. Dessa bedömningar sker vanligen genom observation och de är inte helt tillförlitliga. Ny teknik medger att man med smarta kläder kan mäta rörelser, arbetsställningar och belastningar på kroppen. Projektets syfte var att genomföra ett första steg på vägen mot den långsiktiga visionen att automatisera riskbedömning. Mer specifikt var syftet att utveckla ett praktiskt användbart system med sensorer integrerade i kläderna som mäter, analyserar och visualiserar risker med arbetsfysiologisk belastning baserat på hjärtfrekvens och accelerometri. Ett andra syfte var att demonstrera principer för hur den övergripande visionen kan genomföras, men för ett avgränsat område: i arbeten med hög arbetstyngd men också stillasittande och lågintensiva arbeten. Ett tredje syfte var att utvärdera användbarhet, funktionalitet och komfort hos användare av det smarta kläder-systemet i arbetssituationer. Det finns många kommersiellt tillgängliga produkter och tillämpningar av smart teknik och smarta kläder i sport och medicinska sammanhang. Vidare finns lösningar utvecklade i militära sammanhang. Dock finns inga produkter som tagit ett helhetsgrepp på riskbedömningar i arbetslivet. Projektet har visat att tekniken med smarta kläder kan användas för att bedöma risker i arbetslivet. Den framtagna tekniken begränsas av att mätsignalerna kan störas av t ex armrörelser, magnetfält och uttorkade textilelektroder, men det pågår en snabb utveckling av tekniken. Det utvecklade systemet kan mäta arbetstyngd relativt bra och har bedömts som acceptabelt komfortabelt av användarna att bära under arbetet. Dock finns det potential att förbättra användargränssnittet vad gäller återkoppling av riskbedömningarna.

Nyckelord: belastningsskador, förebygga, mätning, arbetsfysiologi, arbetstyngd, bärbar teknik

Projektets bakgrund, syfte och förväntat resultat

Belastningar på rörelseorganen är trots att dessa problem varit ett känt samhällsproblem under många decennier fortfarande den vanligaste orsaken till arbetsskador. Under senare tid har arbetsskador med psykiska, sociala och organisatoriska orsaker ökat kraftigt och är nu ungefär lika vanliga som arbetsskadorna från rörelseorganen. Kostnaderna för samhället av belastningsproblematiken har uppskattats till 0,5-2 % av BNP (Buckle and Devereux, 1999), vilket betyder ca 50 miljarder kr/år i Sverige. Det finns andra uppskattningar som har visat ännu högre belopp. Utöver det lidande som de drabbade individerna utsätts för, så åsamkas både organisationerna och samhället kostnader och produktionsbortfall på grund av belastningsskadorna. Vidare finns av politiska skäl en målsättning att höja pensionsåldern. Många arbeten innebär hög arbetstyngd, statiska belastningar, repetitiva och monotona arbeten eller fysiskt stillasittande arbeten, något som ökar risken för belastningsskador. I dessa typer av arbeten uppnår inte en betydande del av arbetskraften ordinarie pensionsålder, vilket innebär att förbättringar av arbetsmiljön är viktigt också av anledningen att pensionsåldern ska kunna höjas.

Att kunna förebygga belastningsproblem är därför något som är mycket angeläget ur samhällets, organisationernas och individernas synvinkel. Trots att det är angeläget och att stora insatser gjorts så har omfattningen av de belastningsergonomiska problemen inte förändrats speciellt mycket under de senaste decennierna. Ett viktigt skäl till att belastningsskaderisker inte förebyggs i dagens arbetsliv i den utsträckning som borde ske, är att ansvariga ofta inte har information om huruvida ett arbete innebär risker, och i så fall vilka risker och hur stora riskerna är. Detta beror ofta på att det saknas resurser, kompetens och valida metoder för att bedöma riskerna i förekommande arbetsuppgifter och arbetsplatser. Arbetsgivare och fackliga representanter har därför en ofullständig bild av vilka arbeten/arbetsplatser som behöver förbättras och på vilket sätt.

Om experter gör bedömningar av belastningsskaderisker sker det idag genom att t.ex. en ergonom observerar ett arbete under en viss (kort) tid, och med hjälp av sin erfarenhet eller med hjälp av någon metod bedömer risken. Erfarenheter från ett antal storföretag som systematiskt arbetat med belastningsskadeproblematiken visar dock att den belastningsrelaterade ohälsan kan förebyggas genom att först bedöma riskerna från arbetsplats och arbetsuppgift, därefter tydliggöra riskbilden genom att visualisera den, och sedan prioritera och åtgärda riskmomenten (Törnström et al., 2008). Flera observationsmetoder har utvecklats av företag, t ex BUMS, SES, BME, SARA.

Vanligen har företagshälsovårdspersonal eller specialutbildade metoanvändare gjort bedömningarna när dessa observationsmetoder använts. Arbetsplatserna och arbetsuppgifterna har i flera av metoderna bedömts i tre nivåer, (röd--bör åtgärdas snarast; gul--bör utredas vidare alternativt åtgärdas på sikt; grön--åtgärd behövs normalt ej). Erfarenheterna från användning av dessa observationsmetoder är att en enkel visualisering av resultaten är ett effektivt sätt för företagen att prioritera åtgärder, och att få dessa genomförda. I några företag beslutade ledningen att ha som målsättning att bygga bort de röda arbetsplatserna. Detta innebar att en stor andel av de röda arbetsplatserna byggdes bort på relativt kort tid. Interna utredningar inom Volvo och Saab har visat att varje röd arbetsplats i genomsnitt kostar företagen 300 000-500 000 kr mer än en grön arbetsplats, exklusive kvalitetsbristkostnader

(Törnström et al., 2008; Sollén, 2007). Emellertid har andra studier visat att just dessa kvalitetsbristkostnader är kanske den mest kostsamma konsekvensen av dålig arbetsmiljö (Abrahamsson, 2000; Eklund, 1997). Användningen av riskbedömningsmetoder har också medfört att ett enklare kalkylförfarande kunnat införas. Företagen har accepterat att investera i schablonkostnaden (300 000 eller 500 000 kr) för att bygga bort risken på varje enskild röd arbetsplats utan att behöva göra en separat kalkyl. Åtgärder kan då ske snabbare och utan fördröjning. Sammantaget innebär således användning av riskbedömningar att företagen ofta får positiva ekonomiska effekter samtidigt som de skapar bättre arbetsmiljöer.

Andra riskbedömningsmetoder har utvecklats av forskare, t ex RULA, REBA och NIOSH lyftrekommendation och beforskats internationellt (McAtamney och Corlett, 1993; Hignett och McAtamney, 2000, Chaffin, 2006). I en studie har Takala et al. (2010) jämfört 30 olika observationsmetoder. Rent generellt kan sägas att ingen metod är heltäckande för alla typer av risker och alla metoder har generellt sett låg validitet och reliabilitet. Riskhanteringsmetoden RAMP (Risk Assessment and Management tool for manual handling Proactively; Rose, 2014) som nyligen har utvecklats vid KTH har fått stor uppmärksamhet både i Sverige och internationellt. Scania har infört metoden som en global standard. För närvarande pågår ett arbete med att ta fram en MOOC-utbildning för användare av metoden. RAMP-metoden har översatts till engelska, och kommer också att översättas till andra språk (Rose och Lind, 2014). Metoden har utvecklats med stöd av AFA Försäkring, och denna är nu publicerad på svenska och engelska. Denna metod går längre än att bara vara en riskbedömningsmetod utan också en riskhanteringsmetod. Metoden ger stöd både för riskbedömningen, visualiseringen av risker samt riskhanteringen i form av stöd åt användarna i utarbetandet av åtgärder. Forsman (2015) och Yang et al., (2017) har utvecklat inklinometerbaserade metoder och en app i en mobiltelefon för att mäta arbetsställningar.

RAMP-metoden och andra riskbedömningsmetoder är således viktiga steg mot att förebygga belastningsskador. Dock finns flera begränsningar som gör att dessa riskbedömningsmetoder som baseras på observationer inte fått ett brett genomslag: Metoderna kräver tid och resurser för att genomföra riskbedömningarna på befintliga arbetsplatser. Genom att arbetsuppgifter och arbetsplatser förändras frekvent krävs kontinuerliga resurser att hålla riskbedömningarna uppdaterade. Små och medelstora företag har vanligen inte tillgång till intern expertis för bedömningarna, och anser ofta att det är för dyrt att köpa in konsulttjänster eller företagshälsovård för bedömningarna. Erfarenheterna från praktisk användning visar också att olika observationsmetoder kan ge olika resultat, och olika metodanvändare kan komma fram till olika bedömningar. Mot bakgrund av de observationsbaserade riskbedömningsmetodernas begränsningar är det önskvärt att utveckla dessa för att erhålla bättre tillförlitlighet, men också att automatisera dessa och därmed ge förutsättningar för ett bredare genomslag i arbetslivet.

Under de senare åren har ny teknik utvecklats där sensorer integreras i kläderna med olika textilproduktionsmetoder. Sensorerna kan exempelvis mäta hjärtfrekvens, hudresistans och muskelaktivitet. Vidare har både storlek och kostnader för elektronik, t ex accelerometrar, inklinometrar och gyros (som kan användas för mätning av arbetsställningar och -rörelser) minskat påtagligt. Det har därför blivit möjligt att integrera sensorer och givare i kläderna för att mäta kroppsställningar, belastningar och relevanta fysiologiska reaktioner. Detta benämns ofta ”smarta kläder”. Inom sport och fritidsområdet har många olika system utvecklats, ofta

med bas i mobiltelefoner, s.k. ”smart phones”. Dock har inga kommersiella mätsystem för riskbedömning av belastningsskador från arbetsplatser kunnat identifieras.

Vid Högskolan i Borås drivs textiltforskning i ett s.k. excellence center (<http://smarttextiles.se>). Detta har bidragit till att utveckla området bärbara (wearable) system och smarta textilier, där elektroder är invävda eller stickade direkt i kläderna. Delar av tekniken finns idag som kommersiella produkter. Tekniken har främst fått genomslag i joggingkläder med integrerade EKG-elektroder för registrering av puls under löpning eller liknanden sportutövande, men det finns många andra möjliga tillämpningsområden. För mätningar inom belastningsergonomi finns relevanta givare och sensorer som kan integreras i textil/klädbaserade system, och som i stor utsträckning överensstämmer med den teknik som används i sportsammanhang. Den pågående forskningen handlar dels om utveckling av specifika sensorer, antingen baserade på textil teknik eller integrerbara i textila lösningar, och dels om utveckling av teknik för att inkludera och koppla ihop sensorerna med mätelektronik, kommunikationsteknik, strömförsörjning etc. (Seoane et al., 2014). Det finns en stark utveckling inom området mätteknik för fysisk aktivitet, och ett antal kommersiellt tillgängliga system har introducerats på marknaderna. Däremot är kopplingen mot tillämpningar i arbetslivet ovanliga, d.v.s. den inriktning som detta projekt har.

Vision

Forskningens långsiktiga vision är att på ett effektivare sätt än idag förebygga arbetsskador och främja arbetsrelaterad hälsa genom ett system för automatiserade riskbedömningar som bygger på smarta kläder. Systemet kan producera mätningar av arbetstyngd, arbetsställningar, arbetsrörelser, muskelaktivitet samt belastningar på leder och sensor, men omfattar även olika mått på stressreaktioner. Mätdata analyseras via forskningsbaserade riskbedömningsmodeller och resultaten visualiseras för arbeten och arbetsplatser, vilket ger ett underlag för prioritering av åtgärder. Vidare medger systemet att olämpligt höga belastningar under för långa tidsperioder eller för mycket stillasittande i arbetet återkopplas till individen i realtid via visuell eller akustisk feedback.

Syfte

Detta projekts syfte var att genomföra ett första steg på vägen mot visionen att automatisera riskbedömning, d.v.s. att utveckla ett praktiskt användbart system med sensorer integrerade i kläderna som mäter, analyserar och visualiserar risker med arbetsfysiologisk belastning baserat på hjärtfrekvens och s. k. IMU (med integrerade accelerometrar, gyroskop och magnetometrar). Ett andra syfte var att demonstrera principer för hur den övergripande visionen kan genomföras, men för ett avgränsat område: arbeten med hög arbetstyngd men också stillasittande och lågintensiva arbeten. Ett tredje syfte var att utvärdera användbarhet, funktionalitet och komfort hos användare av det smarta kläder-systemet i arbetssituationer.

Förväntat resultat

Förväntningarna är att den nya tekniken om ett antal år blir ett mycket kraftfullt sätt att förebygga arbetsrelaterad ohälsa från för höga eller för låga fysiska belastningar. Det nu genomförda projektet är endast ett första steg mot visionen att via smarta kläder automatisera datainsamling och analys för riskbedömning av belastningar. Primärt bedöms arbetsplatser och arbetsuppgifter, men man kan också följa exponeringen hos individer under längre tidsperioder med varierande aktiviteter. Användarföretag och -organisationer erhåller en

visualisering av riskbedömningar på sina arbetsplatser, vilket ger dels underlag till prioriteringar och dels en vägledning beträffande aspekter som bör åtgärdas och hur förbättringar kan genomföras. Vi vet att denna typ av tydlig visualisering skapar en stark vilja i organisationerna att bygga bort riskerna, eftersom riskerna tack vare den utvecklade metodiken blivit synliga och mätbara. Förväntan är att denna typ av åtgärder i arbetsmiljön inte bara förbättrar hälsotillståndet för personalen utan att de också bidrar till bättre kvalitet, produktivitet och därmed bättre lönsamhet för organisationerna.

Vidare kommer demonstratorn att kunna ge en bild av hur framtida lösningar inom området kan se ut. Vi förväntar oss också att vi kommer att ha utvidgat nätverket för fortsatt utvecklingsarbete mot visionen att förebygga belastningsskador. Ett exempel på en annan förväntning är:

”Automatiserade riskbedömningar är en mycket spännande möjlighet för oss. Kan vi från Scania medverka i utvecklingen av detta så ser jag vinsten i att vi kan lägga mer tid till att arbeta med åtgärder kopplade till arbetsrelaterad ohälsa.”

Lars Allensten, Manager Safety and Ergonomics, Scania

Projektets genomförande

Metod

Övergripande har projektet genomförts enligt tidsplan, kostnadsplan och projektplan. Dock har vissa projektmoment blivit försenade, främst på grund av icke förväntade tekniska problem. Dock har dessa förseningar kunnat tas igen. I projektansökan ingick inte mätningar av andning, men detta lades till med förhoppningen att kunna få mer tillförlitliga mätningar av energiförbrukning i lågintensiva arbeten. Andra tekniska svårigheter med dessa mätningar uppstod, så en del utvecklingsarbete om detta kvarstår.

Projektet har inneburit både nyutveckling och anpassning av textilier och utrustning som är utvecklade inom idrotten eller försvaret (Seoane et al., 2014), till att användas för riskbedömningar i arbetslivet, t ex för tunga arbeten såsom byggnadsarbetare, brevbärare, och för arbeten med låg fysisk aktivitet såsom kontorsarbetare och fordonsförare. Sensorerna i kläderna och systemet i övrigt har utformats för insamling av pulldata och accelerometerdata från heldagsmätningar eller mätningar över delar av arbetsdagen. I projektet, som är ett första steg mot visionen, har metoden utvecklats och testats för att fungera i olika arbetsmiljöer samt för att bli enkel och lättanvänd. Användarvänliga analysmetoder, visualiseringsmetoder och feedbackmetoder (t ex för akuta överbelastningsrisker) har utvecklats, så att detta möjliggör bedömning av risker för arbetsplatser och arbetsuppgifter. Slutresultatet har blivit ett första generationens system och en demonstrator för hur framtida system för hantering av belastningsskador kan utformas. Följande fem faser ingick i projektet:

- Fas 1. Översikt av forskningssammanställningar kring arbetsskaderisker kopplade mot fysisk aktivitet (både hög och låg), samt utveckling av bedömningskriterier och analysalgoritmer. Vidare har en sökning gjorts för att identifiera kommersiellt tillgängliga produkter som skulle kunna vara användbara i projektets teknikutveckling.
- Fas 2. Framtagning av lämpliga textilmaterial med sensorer för mätning av hjärtfrekvens samt integrering av accelerometrar i kläderna. Vidare har givare integrerade i ett elastiskt textilband

tagits fram för att mäta andningsdjup och andningsfrekvens, vilket ger ventilationen.

Fas 3. Utveckling av systemfunktion inkluderande strömförsörjning, dataöverföring, datalagring, analysmetoder, användbarhet och visualisering av resultaten.

Fas 4. Funktionstester i laboratoriet av det framtagna systemet. Genomförande av en mätomgång i simulerade arbetsuppgifter.

Fas 5. Genomförande av mätningar på arbetsplatser från olika arbetsmiljöer, byggarbete, brevbäring, förararbete, och stillasittande kontorsarbete. Avrapportering.

Funktionstester i laboratoriet

Funktionstester genomfördes för att jämföra olika tekniska lösningarna, bland annat en kommersiellt tillgänglig produkt som köpts in, Hexoskin, vilken är en tröja för mätning av hjärtfrekvens och andning, och en prototyp till en smart väst (X-shirt), tillverkad inom projektets ram i Borås. Vidare testades olika fabrikat av IMU-enheter.

Laboratoriestudien

Mätningarna genomfördes med den smarta västen (X-shirt) som bars närmast kroppen. Denna hade textilelektroder för mätning av hjärtfrekvens. Vidare mättes andningsfrekvens och andningsdjup via bioimpedans från textilelektroderna. Dessutom användes elastiska sportbyxor med fem accelerometrar (AX3, Axivity) i små fickor, två på låren, två på underbenen och en i högra midjan. Två ytterligare accelerometrar var placerade på handlederna, och ytterligare ett aktivitetsarmband (Fitbit Charge 2) på den dominant armens handled. För validering av denna experimentutrustning användes ett band runt bröstkorgen för hjärtfrekvensmätning (Zephyr). Syreupptagning mättes med hjälp av en andningsmask och ett system för att beräkna energiförbrukning (Jaeger Oxycon Pro). Laboratorieförsöken videofilmades i sin helhet.

Försöken bestod av tre situationer, vila, simulerade arbetsuppgifter och submaximala tester. Vilan bestod av 20 minuters i liggande ställning, 5 minuter i sittande och 5 minuter i stående. Därefter genomfördes fem olika simulerade arbetsuppgifter, 8-10 minuter med ca 5 minuters vila mellan uppgifterna för att hjärtfrekvensen skulle återgå till vilofrekvensen. De submaximala testerna var Chesters steptest, en armergonometertest samt en test på ett löpband.

De arbetsuppgifter som simulerades var kontorsarbete, målning, brevtbäring, styckning och byggarbete. Deltagarna var 9 män och 3 kvinnor, och deras ålder varierade mellan 21 och 65 år, med en genomsnittsålder på 35 år. En mer detaljerad beskrivning av denna studie finns i ett artikelmanus, se bilaga 1 till denna slutrapport.

Arbetsplatsstudien

Mätningar genomfördes med den smarta västen, ett band för hjärtfrekvensmätning (Polar H10) med syfte att validera den smarta västen, en accelerometer på handleden (Axivity AX3) samt en Inertial Measurement Unit (IMU) (LPMS-B2) placerad på lårets utsida. Vidare samlades andningssignaler via den smarta västen.

Deltagarna erhöll först information om studien och dess syfte. De fortsatte med att fylla i ett formulär med personuppgifter, upplevd trötthet samt självskattad aktivitetsnivå. Därefter gavs instruktioner för hur mätningarna genomfördes. I nästa steg genomfördes Chester Step-test för

att beräkna individens syreupptagningsförmåga. Resultaten låg till grund för en individuell kalibrering av syreupptagning. Deltagarna genomförde sin normala arbetsaktivitet under 2-3 timmar, varefter mätningarna stoppades och utrustningen togs av. Efteråt svarade de på två frågeformulär, avseende upplevelsen av användbarhet och komfort samt arbetstyngd och trötthet.

Två av deltagarna var brevbärare, två var byggnadsarbetare, två kontorsarbetare med datorarbete och två körde bil i sitt arbete. Deltagarnas ålder varierade mellan 27 och 66 år, med en medelålder av ca 40 år. Av de 8 deltagarna var 6 män och 2 kvinnor. En mer detaljerad beskrivning av studien återfinns i ett artikelmanuskript, se bilaga 1 i denna slutrapport.

Resultat

Litteratur- och informationsgenomgång

Genomgången av kommersiella produkter på marknaden för så kallade ”wearables”, eller bärbar teknik, visade att det finns många produkter som kan användas för fysiologiska mätningar, då främst av hjärtfrekvens. Det visade sig att detta område är oerhört expansivt och nya produkter presenteras i en allt högre takt. Totalt identifierades ett 70-tal produkter utifrån kriterierna att de skulle principiellt vara relevanta för projektets syften. Emellertid var de flesta avsedda för sport- eller friluftssammanhang, eller för någon form av medicinsk och vårdrelaterad verksamhet. Ett annat problem var att flera av produkterna hade ”hemliga” databearbningsalgoritmer, vilket gjorde att grunddata ej var tillgänglig och därmed inte kunde verifieras som tillförlitlig, och således ej heller användas i vårt forsknings- och utvecklingssyfte. Exempelvis fortsätter viss utrustning att visa samma resultat under en tidsperiod med störda signaler, som de resultat som erhöles innan perioden med störda signaler. Ett annat kriterium var att utrustningarna skulle vara rimliga i pris. Genomgången visade efter att endast några få av utrustningarna var intressanta för projektet. Närmare information om detta arbete finns i Nummisalo och Borgström, (2016), se bifogad rapport.

Litteraturgenomgång kring mätning av energiförbrukning, hjärtfrekvensmätningar och riskbedömning av arbetstyngd visade att det inte finns några tydliga nivåer för vad som kan sägas vara säkert eller vad som kan sägas vara skadligt. Det rekommenderade gränsvärdet som International Labour Organisation (ILO) föreslagit är att den relativa aerobiska belastningen (RAS) under en 8 timmars arbetsdag inte bör överstiga 33 % av den maximala syreupptagningsförmågan (Bonjer, 1971; Smolander och Louhevara, 2011). Nivåerna baseras på att arbetstagare blir orimligt trötta om dessa nivåer överskrids. Andra forskare har pekat på att dessa värden gäller dynamiskt arbete med stora muskelgrupper som benen. Om arbetet involverar armarna och är statiskt till sin natur skulle ett gränsvärde istället vara rimligt omkring 23 % av maximal syreupptagning (Legg och Myles, 1981).

Under de senare åren har hälsorisker med för liten fysisk aktivitet uppmärksammats allt mer. Stillasittande arbeten under för långa sammanhängande tidsperioder eller för stor andel av arbetsdagen är exempel på sådana arbetsuppgifter som kan medföra ökade hälsorisker. För att bedöma huruvida arbetsaktiviteten varit för låg så används andelen tid som spenderats i sittande eller stående arbetsställning. Långa tider i sittande arbete kan orsaka hjärt- och kärlsjukdom, diabetes eller cancer (Owen et al., 2010), och långa tider i stående

arbetsställningar är relaterade till problem från hjärt- och kärlsystemet och trötthetssymptom (Gallagher et al., 2014; Waters and Dick, 2015). För närvarande finns inget konsensus om hur långa tidsperioder i sittande respektive stående som utgör risk, men de dimensioner som anses viktigast är hur länge och hur ofta dessa kroppsställningar intas (Callaghan et al., 2015; Dunstan et al., 2013; Holtermann et al., 2017; Ryan et al., 2011; Toomingas et al., 2012). I det system som utvecklats inom ramen för detta projekt har följande kriterier använts: Röd risknivå innebär mindre än 5 minuters paus från sittande under en 60-minuters period. Gul risknivå innebär mindre än 5 minuters paus från sittande under en 30-minuters period, och mer paus från sittande innebär grön risknivå. Stående över 60 minuter i sträck innebär röd risknivå, och stående över 30 minuter i sträck innebär gul risknivå.

Teknikutvecklingen

En tröja, Hexoskin, köptes in i början av projektet, utifrån den initiala sökningen på kommersiella produkter. Den testades mot en annan tröja som tagits fram av Borås Högskola för detta projekt. Resultaten visade att den tröja som tagits fram i Borås för detta projekt hade störst potential att arbeta vidare med. För en närmare beskrivning av detta arbete, se Nummisalo och Borgström, (2016) i bifogad rapport.

Utgångspunkten för utvecklingen av den klädintegrerade tekniken har varit att initialt bygga ett fungerande system som kan testas i verkliga arbetsituationer. Tekniken skulle demonstrera vad som är möjligt att göra när man kombinerar modern textil-, elektro- och datorteknik. Nödvändiga teknikkomponenter skulle vidareutvecklas. Vidare skulle systemet testas i fältstudier så att det kan utformas så att det blir enkelt användbart i sådant sammanhang.

För att bli relevant för olika arbetsplats-scenarier utformades systemet så att det kan registrera fler parametrar. De valda parametrarna var hjärt- och andningsfrekvens, samt rörelse i över- och underarm, både vänster och höger, samt rörelser i lår och underben. Hjärt- och andningsfrekvens registreras med bioimpedansteknik som baseras på fyra elektroder placerade på bröstkorget. I detta fall användes textila elektroder vävda med inslag av elektriskt ledande fibrer. Rörelseregistrering baseras på tröghetsmätning via "Inertial Measurement Units", s.k. IMU:er.

I en första test av enbart de textila elektroderna var dessa fastsydda på insidan av en enkel väst för separat utvärdering av hjärt- och andningsfrekvensregistreringen, se figur 1. I en andra version placerades elektroderna i en T-tröja, figur 2, där IMU:erna placerats i små fickor på ärmarna, se figur 3. Även ett par byxor togs fram där IMU:erna placerades i små fickor på motsvarande sätt. Elektronik för registrering av bioimpedanssignalen var också placerad i en ficka, och i de första versionerna av systemet förbunden med elektroderna med vanliga kablar insydda i kanaler i plaggen.



Figur 1. Första generationens väst för registrering av EKG och andning

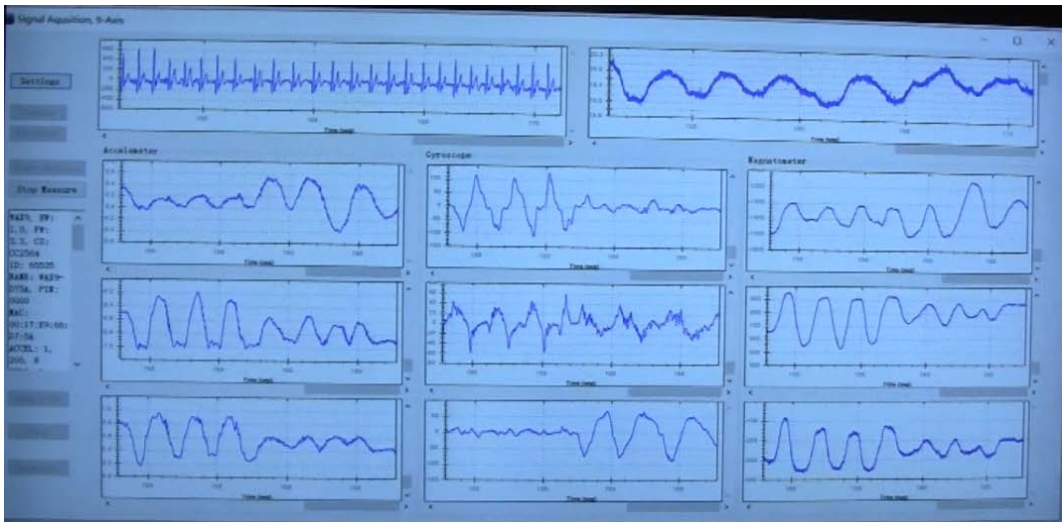


Figur 2. Andra generationens plagg, en T-tröja



Figur 3. En accelerometer placeras i en ficka på ärmen.

En IMU är ungefär lika stor som accelerometern i figur 3. Både IMU:erna och bioimpedansutrustningen kommunicerar signalerna till en persondator via Bluetooth. Figur 4 illustrerar de obehandlade signalerna som kommer från sensorerna, d.v.s. EKG, andningssignal, acceleration längs tre axlar samt magnetometersignal för orientering i jordmagnetfältet. Den sistnämnda signalen utnyttjades inte i nuläget.

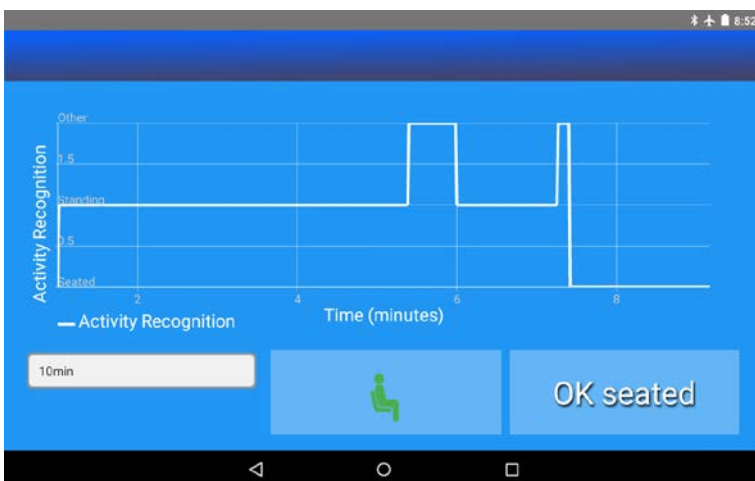


Figur 4. Råsignaler levererade från de olika sensorerna.

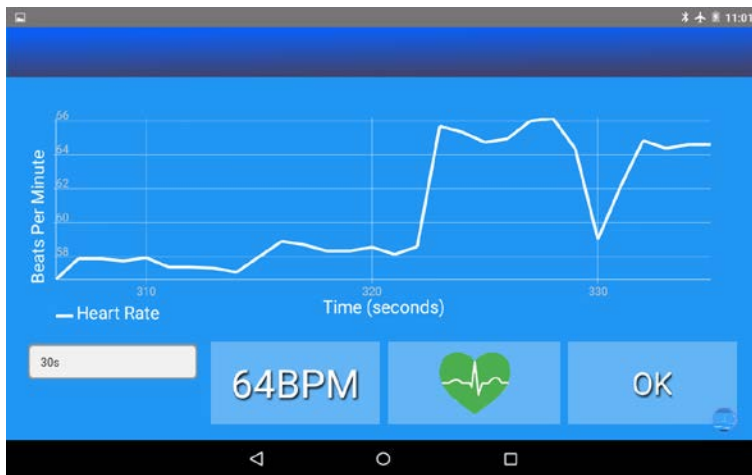
För arbetsplatsstudien användes en läsplatta, (se figur 5), för mottagning, initial behandling, presentation (se figur 6,7 och 8), och lagring av signalerna.



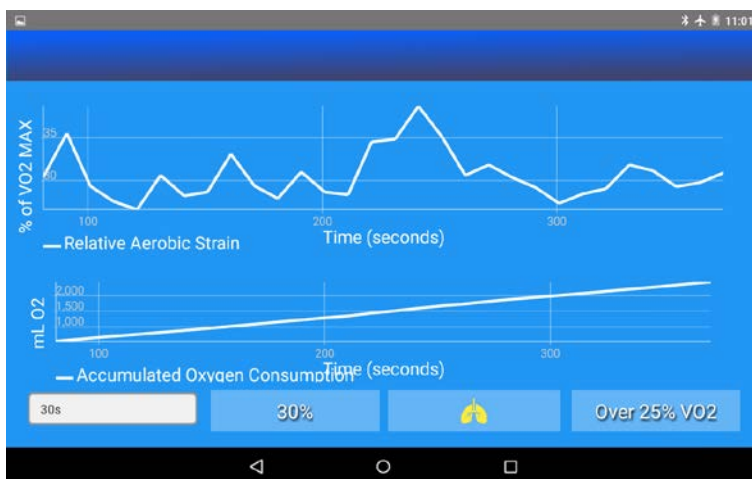
Figur 5. Läsplatta för insamling och presentation.



Figur 6. Presentation av aktivitetsgrad.



Figur 7. Presentation av hjärtfrekvens.



Figur 8. Presentation av beräknad syreförbrukning.

Funktionstester i laboratoriet

Funktionstesterna visade att både västen från Borås, X-skirt och Hexoskin gav valida mätresultat av hjärtfrekvens. Dock stördes mätningarna i vissa situationer av andningen av arm- och bålrörelser, och blev därför svåra att använda i sådana situationer. Testerna av IMU-enheter visade att enheten (LPMS-B2) fungerade väl.

Laborariestudien

Resultaten av laborariestudien visar att de smarta kläderna ger tillförlitliga värden på hjärtfrekvens i jämförelsen med en standardiserad pulsmätning med ett band runt bröstkorgen. Dock finns problem med att elektroderna torkar ut efter någon eller några timmar i fysiskt lätta arbeten. Följaktligen innebär detta att i fysiskt tunga arbeten ger de smarta kläderna en god bas för att bedöma risknivåer i sådana arbeten. I lättare arbeten är puls inte en lika tillförlitlig metod att bedöma risker. Om accelerometrar på handled och lår används tillsammans med hjärtfrekvens erhålls ett bättre underlag för att bedöma aktivitetsnivå samt arbetstyngd, och speciellt gäller detta lågintensiva arbeten. Resultaten av mätningarna visade att aktivitetsarmbandet (Fitbit Charge 2) inte kunde bedöma arbetsbelastning på ett tillförlitligt sätt. I kombination med andra metoder kan sådana armband bidra till en mer tillförlitlig bedömning.

Arbetsplatsstudien

Resultaten från arbetsplatsstudien visar att de smarta kläderna som testades fungerar väl i

verkliga arbetssituationer under mätperioder på ett par timmar. I repetitiva arbetsuppgifter är en sådan tidsperiod tillräcklig för att kunna göra en riskbedömning av situationen, eftersom en extrapolering till full arbetsdag kan göras. Riskbedömningar fungerar väl att göra i fysiskt tyngre arbeten baserat på hjärtfrekvens. För riskbedömning av fysiskt lätta arbeten behövs en kombination av hjärtfrekvens och mätningar av aktivitet i armar och ben. Vidare visade mätningarna att de smarta kläderna var helt acceptabla att använda i de typer av arbeten som testades. De kunde tas på och av relativt enkelt, de hindrade inte arbetet och de upplevdes inte ge dålig komfort. Användbarheten bedömdes som god. Dock var kontorsarbete den yrkesgrupp som var svårast att få väl fungerande mätningar från, eftersom elektroderna tenderade att torka ut mer än för fysiskt tyngre arbeten.

Tabell 1. Enkätresultat från användbarhetsstudien, där en 7-gradig Likertskala använts (1 – mest negativa svarsalternativet, 7 – mest positiva svarsalternativet).

<i>Deltagare:</i>	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	<i>04</i>	<i>05</i>	<i>06</i>	<i>07</i>	<i>08</i>	<i>Median</i>
Användbar	5	3	7	3	6	6	7	5	5.5
Enkel att ta på och ta av	5	3	7	5	4	7	7	5	5
Komfortabel	6	4	6	6	5	7	7	4	6
Informationen om utrustningen var lätt att ta till sig	6	3	7	5	6	6	2	7	6
Inte distraherande	6	4	7	7	7	7	7	6	7
Genomföra mina arbetsuppgifter utan att utrustningen störde mig	7	6	7	4	7	7	7	7	7
Inte obehaglig	6	5	7	6	7	7	7	5	6.5

Diskussion

Teknikdiskussion

Under projektets gång har ett antal problem och svårigheter med tekniken identifierats. Ett sådant problem är att de textila elektroderna tenderar att torka ut speciellt i arbeten med låg fysisk aktivitet. Uttorkningen kan ske redan efter en timme, och medför att det ej längre går att mäta hjärtfrekvens. Detta problem finns inte i sportsammanhang, där användarna genom sin svettutsöndring håller elektroderna fuktiga. Dessutom är sportaktiviteter vanligen begränsade tidsperioder, men arbetet sker under 8 timmar per dag. Problemet har inneburit omkonstruktion av textilelektroderna. Vidare har elastiska band använts för att trycka hårdare mot elektroderna för att dessa ska få en bättre kontakt mot huden. Rörelser med armarna orsakar sk rörelseartefakter, dvs störningar av mätsignalerna för hjärtfrekvens och speciellt ventilation. Dock blir andningsfrekvensen ej lika mycket störd som volymmätningen.

Analysen och presentationen av mätresultaten är en annan viktig fråga. Här kan återkoppling ges till individen direkt i realtid, eller som en återkoppling efter en viss tidsperiod.

Återkopplingen i realtid kan vara akustisk eller visuell, och återkopplingen efter en arbetsdag kan visa en riskbedömning av den undersökta situationen. Här finns olika möjligheter att återkoppla att en risknivå är på väg att överskridas redan under arbetsdagens lopp.

Presentationssättet för den berörde individen kan vara via enkla gränssnitt och diagram.

Metoddiskussion

Kalibreringen av individuell syreupptagningsförmåga är viktig för mätresultatens noggrannhet. Dock måste metoderna vara praktiskt användbara på fältet utan

specialutrustningar som ergometercyklar. Den enklare steptesten har då förts in, eftersom den endast kräver att en mindre lätt låda transporteras till arbetsplatsen. Naturligtvis finns möjligheterna kvar att separata testningar på ergometercykel kan göras om och när detta är möjligt.

Resultatdiskussion

Resultatet av studien visar att hjärtfrekvensmätningar fungerar väl med smarta kläder i tunga arbeten och att övergripande riskbedömningar kan göras baserat på dessa mätningar. Dock finns flera osäkerhetsfaktorer. En är att lågintensiva arbeten kan medföra pulsökningar på grund av t ex stress. I projektet testades därför möjligheten att mäta andning, d.v.s. andningsfrekvens och ventilation, eftersom denna indikator skulle kunna bidra att tillsammans med hjärtfrekvensen göra riskbedömningen av det lågintensiva området. Som tidigare nämnts gjorde rörelseartefakter det svårt att erhålla tillförlitliga mätningar av andning. Dock kan accelerometrar på handled och lår ge aktivitetsdata så att hjärtfrekvensen kan kompletteras med sådana data i det lågintensiva området.

Riskbedömningar är primärt något som avser en arbetsplats. Om flera personer arbetar på denna arbetsplats kan man baserat på hur de utför arbetet göra en riskbedömning av arbetsplatsen. Individuella mätningar ger en riskbedömning för individen i sin arbetssituation, något som inte alltid överensstämmer med riskbedömningen av arbetsplatsen. En teknik som gör riskbedömningar billigare och säkrare innebär att det finns större möjligheter att genomföra riskbedömningar på fler arbetsplatser. På detta sätt kan den nya tekniken bidra till att ge ett bättre underlag till företag och organisationer i sitt förebyggande arbete. Det finns dock alltid en potential att förbättra presentationerna av riskbedömningarna.

Etiska frågor

Personsäkerhet i samband med användning av mätutrustningen bedöms som helt säker för användarna eftersom spänningar och strömstyrkor är mycket låga. En annan aspekt av etiken är att systemen kan användas för att ta fram mätdata som är väsentligt mer tillförlitlig än de manuella observationer som görs idag. Härigenom kan resultaten användas för att påvisa risker hos arbeten och arbetsplatser. Vi menar att det ur etisk synvinkel alltid är angeläget att utveckla mer tillförlitliga bedömningsmetoder för arbetsskaderisker. Metoder som kan göra bedömningarna billigare och mer tillförlitliga är mycket angeläget för att driva förebyggandet av belastningsproblemen framåt. Dock kan all teknik användas på icke avsett sätt. En farhåga som lyfts är möjligheten att missbruka tekniken så att arbetsgivare använder den till att övervaka arbetstagarnas tidsanvändning eller för att öka intensiteten i arbetet. Det finns vissa möjligheter att med utrustningens utformning motverka sådant missbruk.

En annan viktig fråga är att hantera den personliga integriteten utifrån mätdata som samlas in. Inom forskningsprojektet finns omfattande erfarenhet av att hantera mätdata på ett säkert sätt och att känsliga uppgifter om individer inte sprids. I projektet var deltagande frivilligt. Resultaten presenterades också på ett sådant sätt att enskilda individer inte kunnat urskiljas. De etiska riktlinjer som finns har följts i projektet. När dessa system kommer att börja användas i arbetslivet är det också viktigt med att utreda ägarskapet av mätresultaten och hur data förvaras och tillgängliggörs. Resultaten kommer ju att finnas på individuell nivå, på arbetsplatsnivå, och både i form av det detaljerade underlaget samt de resulterande

övergripande riskbedömningarna. För att minska de olika typerna av risker kan lämpligen det smarta klädersystemet i framtiden användas av företagshälsovården. Personalen i företagshälsovården är vana att hantera individuell sekretess och hantera de potentiella etiska problemen. Dessutom har de kompetens att göra riskbedömningar och tolka de riskbedömningar som systemet med smarta kläder tagit fram så att bästa möjliga förebyggande åtgärder kan föreslås.

Fortsatt utveckling

Forskargruppen kring detta projekt har nyligen startat upp två fortsättningsprojekt, ett med stöd av EUs EIT Health programmet, ett program inom ramen för European Institute of Innovation & Technology (EIT), och ett med stöd från VINNOVA. I dessa projekt kommer tekniken att utvecklas vidare, och flera av de nuvarande begränsningarna bedöms kunna lösas inom en snar framtid. Inom dessa projekt är redan en nästa generation plagg under utveckling. Bland annat ersätts de insydda EKG-elektroderna av elektroder stickade med ledande garn, (figur 9), och de kablar som i tidigare versioner förbinder EKG-elektroder med elektronik med elektrisk förbindning med stickade ledningsmönster, (figur 10). Elektroder och ledningsmönster åstadkoms i ett moment genom med *intarsiastickning*. Detta gör plaggen både smidigare och tåligare. Intarsiastickningen innebär också ett viktigt steg mot en mer produktionsvänlig utformning.



Figur 9. Elektroder stickade med ledande garn.



Figur 10. Ledningsmönster från de stickade elektroderna till en punkt på höften där anslutning till elektroniken kan ske.

Vidare kommer utvecklingen av systemen att täcka bredare områden för riskbedömningar och göras mer användbar. Riskbedömningarna har en osäkerhet kring vad som innebär förhöjd risk, bl a eftersom det saknas kvantitativa studier för många olika typer av exponering och olika kroppsdelar. Genom att denna typ av smart teknik utvecklas, kan den data som samlas in bidra till att öka precisionen på riskbedömningarna, varefter kriterierna successivt kan utvecklas mot bättre precision. Målsättningen är att utvecklingsarbetet i de nu pågående projekten ska leda till en kommersiell produkt som kommer att bli tillgänglig inom några år, även om ett fullständigt system för riskbedömning av belastningsskador ligger många år in i framtiden.

Slutsatser

Det finns många kommersiellt tillgängliga produkter och tillämpningar av smart teknik och smarta kläder i sport och medicinska sammanhang. Vidare finns lösningar utvecklade för militära applikationer. Dock finns inga produkter som tagit ett helhetsgrepp på riskbedömningar i arbetslivet, och som kombinerar hjärtfrekvens och mätningar av rörelser samt arbetsställningar, eller rörelseanalyssystem. Projektet pekar på att tekniken med smarta kläder i framtiden kommer att bli användbar för att bedöma risker avseende arbetstyngd och arbetsaktivitet i arbetslivet, och också för flera belastningsergonomiska risker. De testade tekniska lösningarna har dock begränsningar vad gäller störningar av mätsignalerna, så som rörelseartefakter och uttorkning av elektroder efter långa mätperioder. En snabb utveckling av tekniken pågår, så dessa begränsningar kommer sannolikt att kunna lösas inom en inte allt för avlägsen framtid. Riskbedömningarna har en osäkerhet kring vad som innebär förhöjd risk, eftersom det inte finns tillräckligt med forskningsstudier kring dessa frågor. Men bristen på underlag kan i framtiden förbättras genom bred användning av smarta kläder och insamling av ny mätdata. Sådan ny mätdata skulle ge en bättre bas för att förbättra säkerheten av riskbedömningarna. De smarta kläderna och mätutrustningen har bedömts som acceptabelt

komfortabla av användarna att bära under arbetet. Dock finns det potential att förbättra användargränssnittet vad gäller återkoppling av riskbedömningarna.

Genomförda insatser för att resultaten ska komma till praktisk användning

De viktigaste insatserna för att projektresultaten skall komma till praktisk användning är att ett nytt projekt startats just för att ta fram en kommersiell produkt för riskbedömning av arbete med användning av ett smarta klädersystem. Här har ett samarbete initierats med Hultafors Group / Snickers workwear inom ramen för ett av de nya projekten om smarta kläder. Således finns en tillverkare med väl fungerande marknadskanaler. Om teknikutvecklingen kommer fram med lösningar kan det inom några år finnas produkter på marknaden för att bedöma vissa muskuloskeletal risker i arbetslivet. För en mer komplett bedömning av belastningsergonomiska risker kommer det sannolikt att behövas fler års forskning.

Stora insatser har gjorts i projektet för att utveckla en teknik som är så billig att den kan få bred spridning. Samtidigt måste tekniken vara robust och lättanvänd samtidigt som systemet måste ge tillförlitliga riskbedömningar. Dessa aspekter är mycket väsentliga för att resultaten ska kunna komma i praktisk användning.

Publikationer, presentationer och annan spridning inom projektets ram

Forskargruppen har bestått av:

Jörgen Eklund, professor, Enheten för ergonomi, KTH och projektledare

Liyun Yang, doktorand, Enheten för ergonomi, KTH

Kaj Lindecrantz, professor, Enheten för data- och elektroteknik, KTH

Ke Lu, doktorand, Enheten för data- och elektroteknik, KTH

Mikael Forsman, adj professor, Enheten för arbetsmedicin, KI

Jose Diaz, forskningsingenjör, Enheten för data- och elektroteknik, KTH

Farhad Abtahi, tekn dr, Enheten för arbetsmedicin, KI

Fernando Seoane, professor, Sektionen för textilteknologi, Högskolan i Borås

Leif Sandsjö, forskare, Sektionen för välfärd och arbetsliv, Högskolan i Borås

Svend Erik Mathiassen, professor, Arbetshälsovetenskap, CBF, Högskolan i Gävle

Alla projektdeltagare är också föredragshållare och lärare i olika sammanhang. En av de allra viktigaste kanalerna för informationsspridning av projektresultaten är via utbildningen av ingenjörer, ergonomer, fysioterapeuter och företagshälsovårdspersonal. Projektdeltagarna har idag ansvar för ett flertal utbildningar och kurser för dessa personalkategorier, där flera hundra studenter utbildas varje år. Ansvar för företagshälsovårdens personal ligger till största delen på KI och KTH, vilket innebär att de personer som arbetat med projektet också undervisar företagshälsovårdspersonalen om metoder för riskbedömning och därmed redan under projektets löptid börjat sprida kunskap om den typ av metoder som utvecklats i projektet.

Projektets resultat har spridits i mer än 10 artiklar i massmedia. Intresset för denna teknik har varit synnerligen stort. Vidare sprids projektresultaten på KTHs hemsida och på företagshälsovårdsforskningens hemsida. Två av de största företagshälsovårdskedjorna har representanter som deltar i fortsättningsprojekten för att utveckla en kommersiell produkt som

utgör ett praktiskt användbart system med sensorer integrerade i kläderna som mäter, analyserar och visualiserar belastningsergonomiska risker.

Tekniken utvecklas vidare för att om några år erbjudas företag och organisationer. Under den fortsatta utvecklingen samlas erfarenheter om användningen och fortsatta utvecklingsbehov. De vetenskapliga resultaten kommer att spridas i form av tre vetenskapliga tidskriftsartiklar (se bilagorna 1 och 4), två rapporter och som en del av två doktorsavhandlingar. Vidare har resultaten spridits vid två vetenskapliga konferenser med tillhörande presentationer. Dessa listas nedan.

Publikationer

Yang, L., Lu, K., Forsman, M., Lindecrantz, K., Seoane, F., Ekblom, Ö. and Eklund, J. (2017). Development of smart clothes for physiological workload assessment using heart rate and accelerometry. (To be submitted).

Yang, L., Lu, K., Diaz, J., Seoane, F., Lindecrantz, K., Forsman, M., Abtahi, F. and Eklund, J. (2017). Applying smart clothing for automatic risk assessment of physical workload. (To be submitted).

Forsman, M. (2017) The search for practical and reliable observational or technical risk assessment methods to be used in prevention of musculoskeletal disorders. *Agronomy Research* 15(3), 680-686.

Forsman, M. (2016). Ergonomic risk assessments – a need for reliable and attractive methods. Järvelin-Pasanen Susanna (ed.) NES2016 - Ergonomics in theory and practice. 48th Annual Conference of Nordic Ergonomics and Human Factors Society. Reports and Studies in Health Sciences 22: University Eastern Finland, Kuopio, Finland.

Yang, L., Lu, K., Abtahi, F., Lindecrantz, K., Seoane, F., Forsman, M. and Eklund, J. (2017) A pilot study of using smart clothes for physical workload assessment. NES Conference, Lund.

Nummisalo, Borgström, D. (2016). Utvärdering av smarta kläder - För användning inom arbetslivet. Examensarbete, KTH, Skolan för teknik och hälsa.

Helander Sjöblom, U. och Rönnlund, S. En jämförelse av tre metoder för mätning av hjärtfrekvens i olika arbetsaktiviteter (2017). Examensarbete, KTH, Skolan för teknik och hälsa.

Presentationer

Liyun Yang, doktorandseminarium: Nya teknologier visualisera risker i arbetet, 2016-09-13

Liyun Yang, föredrag: Smarta textilier visualiserar risker i arbetet, 2017-03-07

Liyun Yang, föredrag: Nya teknologier för att visualisera risker i arbetet, KTH, 2017-08-31

Liyun Yang, presentation på NES-konferensen: A pilot study of using smart clothes for physical workload assessment 2017-08-21

Ke Lu, doktorandseminarium, Wearable Sensor System for Occupational Health, 2017-02-08

Jörgen Eklund, Kaj Lindecrantz m.fl., presentation vid STH-skolans invigning 2016-10-20.

Jörgen Eklund, föredrag: Smarta textilier för riskbedömning i arbetslivet, KTH, 2017-08-31

Jörgen Eklund, demonstration och föredrag, Prevents styrelse, 2017-10-05.

Viktigaste litteraturreferenser

- Abrahamsson L. (2000). Production economics analysis of investment initiated to improve working environment. *Applied Ergonomics* 31, 1-7.
- Bonjer FH. (1971). Energy expenditure. In Parmeggiani L. ed. *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. Geneva: International Labour Organisation;187-197.
- Buckle, P. and Devereux, J. (1999). Work related neck and upper limb musculoskeletal disorders. European Agency for Occupational Health and Safety at Work.
- Callaghan, J.P., De Carvalho, D., Gallagher, K., Karakolis, T., Nelson-Wong, E. (2015). Is Standing the Solution to Sedentary Office Work? *Ergon. Des. Q. Hum. Factors Appl.* 23, 20–24. doi:10.1177/1064804615585412
- Dunstan, D.W., Wiesner, G., Eakin, E.G., Neuhaus, M., Owen, N., LaMontagne, A.D., Moodie, M., Winkler, E.A.H., Fjeldsoe, B.S., Lawler, S., Healy, G.N. (2013). Reducing office workers' sitting time: rationale and study design for the Stand Up Victoria cluster randomized trial. *BMC Public Health*. doi:10.1186/1471-2458-13-1057
- Eklund, J. (1997). Ergonomics, Quality and Continuous Improvement-Conceptual and Empirical Relationships in an Industrial Context. *Ergonomics*. 40, 982-1001.
- Gallagher, K.M., Campbell, T., Callaghan, J.P. (2014). The influence of a seated break on prolonged standing induced low back pain development. *Ergonomics* 57(4), 555-562. doi:10.1080/00140139.2014.893027
- Holtermann, A., Schellewald, V., Mathiassen, S.E., Gupta, N., Pinder, A., Punakallio, A., Veiersted, K.B., Weber, B., Takala, E.-P., Draicchio, F., Enquist, H., Desbrosses, K., García Sanz, M.P., Malińska, M., Villar, M., Wichtl, M., Strebl, M., Forsman, M., Lusa, S., Tokarski, T., Hendriksen, P., Ellegast, R. (2017). A practical guidance for assessments of sedentary behavior at work: A PEROSH initiative. *Appl. Ergon.* 63, 41–52. doi:10.1016/j.apergo.2017.03.012
- Owen, N., Healy, G.N., Matthews, C.E., Dunstan, D.W. (2010). Too Much Sitting: The Population-Health Science of Sedentary Behavior. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 38, 105–113. doi:10.1097/JES.0b013e3181e373a2
- Ryan, C.G., Dall, P.M., Granat, M.H., Grant, P.M. (2011). Sitting patterns at work: objective measurement of adherence to current recommendations. *Ergonomics* 54, 531–538. doi:10.1080/00140139.2011.570458
- Seoane, F. et al. (2014). Wearable Biomedical Measurement Systems for Assessment of Mental Stress of Combatants in Real Time. *Sensors* 2014, 14, 7120-7141.
- Smolander, J. and Louhevaara, V. (2011). Muscular work in occupational activities. ILO http://www.ilo.org/safework_bookshelf/english?content&nd=857170329
- Takala EP, Pehkonen I, Forsman M, Hansson GÅ, Mathiassen SE, Neuman P, Sjøgaard G, Veiersted KB, Westgaard R, Winkel J. (2010). Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scand J Work Environ Health*. 36(1):3-24.
- Toomingas, A., Forsman, M., Mathiassen, S.E., Heiden, M., Nilsson, T. (2012). Variation between seated and standing/walking postures among male and female call centre operators. *BMC Public Health* 12, 154. doi:10.1186/1471-2458-12-154
- Törnström L, Amprazis J, Christmansson M and Eklund J, (2008). A corporate workplace model for ergonomic assessments and improvements. *Applied Ergonomics*, 39(2), 219-228
- Waters, T.R., Dick, R.B. (2015). Evidence of Health Risks Associated with Prolonged Standing at Work and Intervention Effectiveness. *Rehabil. Nurs.* 40, 148–165. doi:10.1002/rnj.166

Acknowledgement

Författarna vill härmed tacka AFA Försäkring för finansiellt stöd till detta projekt. Vidare vill vi tacka alla de personer som varit deltagare i mätningarna och som på annat sätt bidragit till att dessa mätningar kunnat genomföras. Vi vill också tacka Forskare Leif Sandsjö och Professor Svend Erik Mathiassen för deras stöd till och insatser för projektet.

Bilaga 1.

Manuskript 1 för publicering i en vetenskaplig tidskrift:

Development of smart clothes for physiological workload assessment using heart rate and accelerometry

Liyun Yang, Ke Lu, Mikael Forsman, Kaj Lindecrantz, Fernando Seoane, Örjan Ekblom, Jörgen Eklund

Keywords: energy expenditure, oxygen consumption, risk assessment, motion sensing

Abstract:

Work demanding high energy metabolism is known to be associated with fatigue, poor health and increased risk of work injuries or early retirement. Energy expenditure (EE) at work can be estimated by various methods, of which heart rate (HR) monitoring is among the most common ones. While the estimation of EE using HR is influenced by individual's endurance capacity and the characteristic of activities and hence the accuracy suffers several techniques have been proposed by researchers to improve the estimation; methods combining accelerometers (ACC) and HR have shown improvement in accuracy. The purpose of this study was to evaluate estimates of EE during simulated work activities using (1) only HR (HR-Flex model) and two methods combining HR and ACC, (2) arm-leg HR+ACC, and (3) HR branched model against indirect calorimetry. Twelve subjects performed five simulated work activities at various intensities and three sub-maximal tests for individual calibration, during which the oxygen consumption was measured. The results showed that estimates of EE from the arm-leg HR+ACC had the overall highest accuracy (RMSE = 0.79 mL/min/kg), i.e. higher than the HR-Flex model (RMSE = 1.46 mL/min/kg), and the HR branched model had the worst accuracy (RMSE = 3.41 mL/min/kg). Hence, a combination of HR and arm-leg ACC may be used to estimate EE during work activities with improved accuracy (in comparison to only HR), while HR and hip ACC (branched model) may be unsuitable to use in assessing working life activities.

Manuskript 2 för publicering i en vetenskaplig tidskrift:

Applying smart clothing for automatic risk assessment of physical workload

Liyun Yang, Ke Lu, Jose Diaz, Fernando Seoane, Kaj Lindecrantz, Mikael Forsman, Farhad Abtahi, Jörgen Eklund

Keywords: physiological workload, prolonged sitting/standing, work-related ill health, prevention, wearable system

Abstract:

Work-related musculoskeletal disorders and other health problems are still prevalent in today's working population. The risk assessments are usually performed via self-reports or observations, which are of relatively low reliability. Modern technology development in textile electrodes (textrodes), inertial measurement units (IMUs), communication and processing capabilities of smart phones/tablets provide wearable solutions for automatic risk assessment of people at work, with high reliability and resource efficiency. In this study, a smart clothing system integrating textrodes, motion sensors and real-time data processing through a mobile application was developed as a demonstrator, with a focus of risks related to heavy work or prolonged, low-intensity work. The system was tested on eight subjects from four occupations with various workload intensities, during which the heart rate and arm/leg motion data were collected and analyzed with an android application. Risk assessment results were shown. The system showed sufficiently good functionality and usability as a risk assessment tool.

Bilaga 2

Följande rapport bifogas till slutrapporten.

Nummisalo, Borgström, D. (2016). Utvärdering av smarta kläder - För användning inom arbetslivet. Examensarbete, KTH, Skolan för teknik och hälsa.

Sammanfattning

Målet med projekt var att bidra till utvecklingen av smarta kläder. Två smarta tröjor jämfördes med varandra. Den ena tröjan (Hexoskin-tröjan) var utvecklad av företaget Hexoskin och den andra tröjan (X-shirt) genom ett samarbete mellan KTH och Högskolan i Borås. De smarta tröjorna validerades mot etablerade mätmetoder ("gold standard"), insamlad med EKG och spirometer utvecklade av företaget ADinstruments. Korrelationen visade sig vara god för både X-shirt och Hexoskin-tröjan. En testperson vid god hälsa utförde sex simulerade arbetsmoment från olika yrkeskategorier. Detta för att göra en riskanalys av yrkenas olika arbetsbelastningar. En mjukvara utvecklades för att analysera och visualisera resultaten baserat på aktuell puls och andningsfrekvens för de olika arbetsmomenten.

Resultatet visade att EKG-signalerna för båda smarta tröjorna var robusta mot rörelser. Andningssignalerna stördes dock vid rörelser. Dessutom berodde signalkvaliteten på textil-elektrodernas fuktighet. Båda smarta tröjorna behöver fuktas innan användning. Dock sker avdunstningen i lägre takt hos X-shirt vilket gör den mer lämplig för mätningar under lång tid vid låg fysisk aktivitet.

Hexoskin var mer robust än X-shirt då X-shirts elektroder ibland tappade sin hudkontakt. Ett sätt att utveckla X-shirt är att göra den mer flexibel för olika rörelser med hjälp av till exempel elastiska axelband och ett mer åtsittande bröstband för att elektroderna skall få bättre kontakt med huden.

Bilaga 3

Följande rapport bifogas till slutrapporten.

Helander Sjöblom, U. och Rönnlund, S. En jämförelse av tre metoder för mätning av hjärtfrekvens i olika arbetsaktiviteter (2017). Examensarbete, KTH, Skolan för teknik och hälsa.

Sammanfattning

Kostnader i samband med arbetsrelaterade skador är ett problem i samhället. Ett sätt att bedöma arbetsbelastning är genom att mäta hjärtfrekvensen, vilket kan göras med hjälp av olika mätmetoder. Syftet med denna studie var att jämföra mätning av hjärtfrekvens för två metoder – aktivitetsarmband (Fitbit Charge 2) och smarta kläder – med mätningar från ett pulsband (Zephyr HxM). Fysiska tester gjordes på 12 personer (tre kvinnor och nio män) med varierande åldrar och innebar simulering av fem olika yrkesgrupper: kontorsarbetare, målare, brevbärare, styckare och byggarbetare. Därtill bedömdes även arbetsaktiviteternas arbetsbelastning utifrån mätvärdena från pulsbandet. Resultatet visade på god korrelation och överensstämmelse mellan smarta kläder och pulsbandet, medan aktivitetsarmbandets korrelation och överensstämmelse varierade med aktiviteternas intensitet där bäst resultat påträffades vid låg intensitet samt vid aktiviteter som inte involverade armrörelse. Arbetsbelastningen för kontorsarbete bedömdes som lätt arbete, måleri och styckning bedömdes som lätt till måttligt arbete medan brevbäring och byggarbete varierade från lätt till tungt arbete beroende på testperson. Slutligen konstaterades att aktivitetsarmbandet inte duger i syfte att bedöma arbetsbelastningen på arbetsplatser utan kompletterande metoder. Smarta kläder har däremot potential att på längre sikt kunna förebygga skador.

Bilaga 4

Följande artikel bifogas till slutrapporten.

Forsman, M. (2017) The search for practical and reliable observational or technical risk assessment methods to be used in prevention of musculoskeletal disorders. *Agronomy Research* 15(3), 680-686.

Abstract. Work-related musculoskeletal disorders (WRMSDs) are still frequent, inducing very large costs for companies and societies all over the world. Ergonomists work to prevent these disorders and to make organisations sustainable. In their work it is important to identify risks in a reliable way, to prioritise risks, and then to perform interventions (participatory interventions have shown to more often be successful), so that the risks and the disorders may be reduced. Risks are most often assessed by observation. Two projects are described. In the first project the inter-observer reliability of six observational methods was found to be low in risk assessments concerning repetition, movements and postures. Also the inter-method reliability was often low, i.e. when the same work is assessed with different methods different risk estimates are often obtained. In the second described project, easy-to-use methods for measurements of postures and movements were developed and validated. Hence, there are now validated technical methods that in developing tools, together with practitioners, that are attractive, easy and time efficient to use, and which should increase the reliability in risk assessments of work tasks and jobs.

Bilaga 5

Följande konferensbidrag bifogas slutrapporten:

Yang, L., Lu, K., Abtahi, F., Lindcrantz, K., Seoane, F., Forsman, M. and Eklund, J. (2017)
A pilot study of using smart clothes for physical workload assessment. NES Conference,
Lund.