



HAL
open science

Échauffements au travail : conception, mise en oeuvre et évaluation dans le secteur viticole

Nicolas Larinier

► **To cite this version:**

Nicolas Larinier. Échauffements au travail : conception, mise en oeuvre et évaluation dans le secteur viticole. Santé. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2023. Français. NNT : 2023GRALS043 . tel-04482166

HAL Id: tel-04482166

<https://theses.hal.science/tel-04482166>

Submitted on 28 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

École doctorale : ISCE - Ingénierie pour la Santé la Cognition et l'Environnement

Spécialité : MCA - Mouvement et Comportement pour la santé et l'Autonomie

Unité de recherche : AUTONOMIE, GÉRONTOLOGIE, E-SANTÉ, IMAGERIE & SOCIÉTÉ

**Échauffements au travail : conception, mise en oeuvre et évaluation
dans le secteur viticole**

**Workplace warm-up intervention: design, implementation and
evaluation in viticulture**

Présentée par :

Nicolas LARINIER

Direction de thèse :

Nicolas VUILLERME
PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Grenoble Alpes

Directeur de thèse

Romain BALAGUIER
Docteur en Sciences, Université Grenoble Alpes

Co-encadrant de thèse

Rapporteurs :

STEPHANE MANDIGOUT
PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE DE LIMOGES
DAVY LAROCHE
INGENIEUR DE RECHERCHE, UNIVERSITE DE BOURGOGNE

Thèse soutenue publiquement le **29 septembre 2023**, devant le jury composé de :

NICOLAS VUILLERME PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES	Directeur de thèse
STEPHANE MANDIGOUT PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE DE LIMOGES	Rapporteur
DAVY LAROCHE INGENIEUR DE RECHERCHE, UNIVERSITE DE BOURGOGNE	Rapporteur
JULIEN PIERRE MAITRE DE CONFERENCES, UNIVERSITE DE STRASBOURG	Examineur
AURELIE LANDRY MAITRE DE CONFERENCES, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES	Examinatrice
PATRICE FLORE PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES	Président

Invités :

ROMAIN BALAGUIER
DOCTEUR EN SCIENCES, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES



Résumé

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) sont définis comme des atteintes douloureuses de l'appareil locomoteur qui peuvent toucher muscles, nerfs, tendons ou articulations. Le secteur de la viticulture semble particulièrement exposé au risque de développer un TMS. Plusieurs moyens de prévention existent parmi lesquels s'inscrit la mise en place de programmes d'activités physiques sur le lieu de travail comme des programmes d'échauffement.

L'objectif principal de ce travail doctoral était de concevoir, mettre en œuvre et évaluer les effets de programmes d'échauffement destinés à prévenir ou à limiter l'aggravation des TMS dans le secteur de la viticulture.

Pour répondre à cet objectif, une revue systématique de la littérature a dans un premier temps été conduite afin de réaliser un état des lieux de la littérature scientifique concernant les effets de programmes d'échauffement mis en œuvre sur le lieu de travail pour prévenir la survenue ou limiter l'aggravation des TMS dans le milieu professionnel (Contribution 1 et Contribution 2). Les résultats de cette revue ont montré que seulement trois études ont évalué l'impact d'un échauffement sur le lieu de travail et qu'aucune d'entre elles n'a été implémentée en agriculture. Ces conclusions nous ont dès lors encouragés à concevoir et mettre en œuvre une première étude interventionnelle visant à évaluer les effets immédiats d'une seule session de 15 minutes d'échauffement sur la douleur, la fréquence cardiaque, la performance au travail et les perceptions de 31 ouvriers viticoles salariés dans 6 propriétés différentes (Contribution 3). Dans cette étude, c'est la modalité Hybride, identifiée dans une des études incluses dans la revue et déjà utilisée dans le secteur viticole, qui a été mise en œuvre.

Les résultats ont tout d'abord confirmé que les activités réalisées par les salariés de ce secteur augmentaient l'intensité des douleurs perçues. Cependant, cette augmentation de la douleur durant la première heure de travail était similaire avec ou sans réalisation d'un échauffement. Les résultats ont de plus montré que la modalité d'échauffement utilisée, la modalité « HYBRIDE », entraînait une augmentation de la fréquence cardiaque tout au long de la réalisation des exercices. Enfin cette étude a permis de mettre en évidence que la performance au travail, la qualité de travail perçue et le sentiment d'être prêt à commencer le travail augmentent lorsque les salariés réalisent un échauffement. Les résultats positifs obtenus sur 1h de travail avec la modalité d'échauffement hybride nous ont questionnés sur la persistance des effets d'un échauffement dans la journée de travail. Les résultats contrastés observés sur

la douleur ajoutés aux différentes modalités d'échauffement identifiées dans la revue de littérature nous ont orientés à conduire une seconde étude interventionnelle.

Ainsi, les objectifs de la seconde étude interventionnelle (Contribution 4 et Contribution 5) étaient de comparer les effets d'une seule session de 15 minutes de trois modalités d'échauffement identifiées dans la revue systématique, à savoir « HYBRIDE », « STRETCHING » et « DYNAMIQUE » auprès de 120 ouvriers viticoles, salariés dans une dizaine de propriétés viticole. Les variables mesurées étaient la douleur, la fréquence cardiaque, la performance au travail, la force de préhension, la souplesse, les perceptions et les capacités visuo-motrices. Quarante-deux participants, issus de 10 propriétés viticoles et répartis en 4 groupes (3 interventions et 1 contrôle), ont finalement été inclus dans l'analyse. Les résultats de cette seconde étude interventionnelle suggèrent que la douleur et la fatigue cognitive augmentent avec le travail et que la fréquence cardiaque augmente lors de la réalisation des trois modalités d'échauffement et d'une manière significativement plus importante avec la modalité dynamique. Après un échauffement selon la modalité dynamique, la performance au travail est plus importante et la charge de travail perçue moindre.

Dans leur ensemble, les résultats de ce travail doctoral ont montré que (1) peu d'études ont évalué les effets de programmes d'échauffements réalisés sur le lieu de travail sur la douleur, la performance, les capacités physiques et les perceptions et aucune n'a été réalisée en agriculture ; (2) la modalité hybride, modalité la plus répandue dans les entreprises, a des effets positifs sur la performance au travail et le ressenti des viticulteurs ; (3) la modalité stretching malgré une qualité de travail augmentée, n'a aucun effet significatif sur les autres variables mesurées ; et (4) la modalité dynamique est intéressante à proposer dans la mesure où elle permet d'obtenir un effet sur la performance et la charge de travail perçue ainsi qu'un effet plus marqué que les deux autres modalités sur la fréquence cardiaque. Ces résultats ouvrent des perspectives de travail intéressantes, visant d'une part à déterminer les effets à moyen terme d'un programme d'échauffement, et d'autre part à identifier les déterminants permettant de maintenir les échauffements dans le temps. Les retombées sont prometteuses et importantes puisqu'il s'agit d'être en mesure, à terme, de délivrer des interventions ciblées et personnalisées pour limiter l'apparition de TMS dans le secteur de la viticulture. Même si l'impact de l'échauffement seul sur les TMS reste encore à démontrer, les effets prometteurs observés confirment la place de l'échauffement dans une démarche globale de prévention primaire des TMS.

Abstract

Musculoskeletal disorders (MSDs) are defined as painful disorders of the musculoskeletal system that can affect muscles, nerves, tendons or joints. Viticulture seems particularly exposed to the risk of developing an MSD. A number of preventive measures are available, including the work organization, the purchase of more ergonomic equipment and the implementation of physical activity programs at the workplace. The main objective of this thesis was to design, implement and evaluate the effects of warm-up programs to prevent or limit the worsening of MSDs in the viticulture sector.

To meet this objective, a systematic review of the literature was initially conducted to identify from published literature the available evidence regarding the effects of warm-up intervention on MSDs and physical and psychosocial functions (Study 1 and Study 2). The results of this review showed that only three studies have evaluated the impact of a warm-up on the workplace. In addition, none of the studies identified in this review had been implemented in agriculture. These findings then encouraged us to design and implement a randomized cross-over study on 31 vineyard workers from 6 companies (Study 3). The objective of this study was to assess the immediate effects of a 15 minutes warm-up on pain, heart rate, work performance and perceptions. The mixed results on pain in Study 3 and the results of the systematic review then led us to test different warm-up modalities. Thus, the objectives of the second interventional study (Study 4 and Study 5) were to analyze and compare the acute effects of a single 15min session of three warm-up modalities identified in the systematic review: the “HYBRID”, “STRETCHING” and “DYNAMIC” modalities among 120 vineyard workers. The outcomes in this study were pain, heart rate, work performance, grip strength, flexibility, visuo-motor perceptions and abilities. 92 participants, from 10 different companies and divided into 4 groups (3 interventions and 1 control), were finally included in the analysis. The results of Study 5 suggest that pain and cognitive fatigue increase with work and that heart rate increases in the three warm-up modalities and more significantly with dynamic modality. In the case of dynamic modality, there is also a higher work performance and a lower perceived workload.

Overall, the results of this thesis have shown that (1) few studies have evaluated the effects of workplace warm-up programs on pain, performance, physical abilities and perceptions; (2) the hybrid modality, the most common modality in companies has positive effects on the performance at work and the perceptions of the workers; (3) the stretching modality despite an increased quality of work, does not have effects on the measured outcomes; (4) the

dynamic modality is interesting because it allows to obtain a more important effect on the heart rate, the performance and the perceived workload.

These results open up the perspectives to further assess the medium-term effects of a warm-up program and to identify the determinants for maintaining warm-ups over time. The benefits are promising and important, since it is a matter of being able, over time, to deliver targeted and personalized interventions among workers with MSDs. Although the impact of warm-up alone on MSDs is questionable, the promising effects observed confirm the place of warm-up programs in a global approach in primary prevention for MSDs.

Résumé détaillé

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) sont définis comme des atteintes douloureuses de l'appareil locomoteur qui peuvent toucher muscles, nerfs, tendons ou articulations. Ces atteintes à la santé ont un impact négatif sur les amplitudes articulaires des membres supérieurs et du rachis, sur la force et l'endurance musculaire et in fine la qualité de vie de la personne. Il est à noter qu'aucun secteur professionnel n'est épargné, mais que le secteur agricole, et notamment le secteur viticole présentent une prévalence élevée de TMS.

Plusieurs moyens de prévention existent parmi lesquels l'aménagement des postes de travail, l'achat de matériel plus ergonomique, mais également la mise en place de programmes d'activités physiques sur le lieu de travail. Bien que prometteurs pour la prévention des TMS, ces programmes qui proposent généralement des séances de 30 à 60 minutes de renforcement musculaire et étirements plusieurs fois par semaine peuvent être complexes à mettre en place. Aussi, bon nombre d'entreprises du secteur viticole se tournent vers une autre solution : la mise en place de programmes d'échauffement sur le lieu de travail avant la prise de poste. Ces entreprises font le pari que les effets positifs des échauffements sur la performance et le risque de blessure observés, reconnus et bien documentés en sport, sont transposables dans le domaine du travail. Cependant, à ce jour, très peu d'études évaluant les effets sur les TMS de programmes d'échauffements sur le lieu de travail ont été publiées dans des revues scientifiques. Dans ce contexte, et en l'absence de connaissances scientifiques sur le sujet, le principal objectif de ce travail doctoral était de concevoir, mettre en œuvre et évaluer les effets de programmes d'échauffement destinés à prévenir ou à limiter l'aggravation des TMS dans le secteur de la viticulture.

Pour répondre à cet objectif, une revue systématique a dans un premier temps été conduite afin de réaliser un état des lieux de la littérature scientifique concernant les effets de programmes d'échauffement mis en œuvre sur le lieu de travail pour prévenir la survenue ou limiter l'aggravation des TMS dans le milieu professionnel (Contribution 1 et Contribution 2). Cette revue de littérature qui constitue la base de ce travail doctoral a mis en évidence plusieurs éléments importants. Tout d'abord, cette dernière a fait ressortir un « écart » important entre l'intérêt grandissant des entreprises pour ce type d'intervention (nombre d'articles important dans la littérature « grise ») et le nombre d'articles publiés dans des revues scientifiques. En effet, malgré des critères d'inclusion volontairement peu restrictifs, nous n'avons répertorié que 3 études qui ont évalué l'impact d'un échauffement réalisé sur le lieu de travail sur la douleur et les capacités physiques de travailleurs. À noter qu'aucune

d'entre elle ne s'est d'ailleurs directement intéressée aux TMS en tant que tel. Dans un second temps, cette revue a permis d'identifier 3 modalités d'échauffements différentes mises en place et évaluées dans les études (stretching, dynamique et hybride), modalités également retrouvées fréquemment dans le milieu sportif. Enfin, cette revue de littérature a démontré qu'aucune étude n'a jusqu'alors été réalisée dans le secteur agricole, résultat soulignant par la même occasion l'intérêt de concevoir, mettre en place et évaluer les effets de ce type de programme dans ce secteur d'activité.

Forts des conclusions et perspectives de la revue de littérature, nous avons dans un second temps, conçu et mis en œuvre une étude croisée randomisée sur 31 ouvriers viticoles, salariés dans 6 propriétés différentes (Contribution 3). Cette étude avait pour objectif d'évaluer les effets immédiats d'un programme d'échauffement sur le lieu de travail, de type « Hybride », modalité la plus répandue dans les entreprises, sur l'intensité des douleurs, la fréquence cardiaque, la performance au travail et les perceptions. Nos résultats ont tout d'abord (1) confirmé que les activités professionnelles réalisées par les salariés de ce secteur augmentaient l'intensité des douleurs perçues et (2) que la réalisation d'un échauffement hybride n'avait pas d'effet sur l'intensité des douleurs perçues. Ensuite, cette étude a démontré que la modalité hybride entraînait une augmentation de la fréquence cardiaque tout au long de la réalisation des exercices d'échauffement qui par conséquent permet au salarié de se rapprocher de la demande cardiaque de l'activité professionnelle réalisée. Enfin, cette étude a permis de mettre en évidence que la performance au travail, la qualité de travail perçue et le sentiment d'être prêt à commencer le travail augmentent lorsque les salariés réalisent un échauffement. Les résultats positifs obtenus sur 1h de travail avec la modalité d'échauffement hybride nous ont questionnés sur la persistance des effets d'un échauffement dans la journée de travail. Les résultats contrastés sur la douleur dans la contribution 3 et les résultats de la revue de littérature nous ont orientés à tester différentes modalités d'échauffement.

Ainsi, les objectifs de la seconde étude interventionnelle (Contribution 4 et Contribution 5) étaient de comparer les effets d'une seule session de 15 minutes de trois modalités d'échauffement identifiées dans la revue systématique, à savoir « HYBRIDE », « STRETCHING » et « DYNAMIQUE » auprès de 120 ouvriers viticoles, salariés dans 10 propriétés viticoles. Les variables mesurées dans cette étude étaient la douleur, la fréquence cardiaque, la performance au travail, la force de préhension, la souplesse, les perceptions et les capacités visuo-motrices. 92 participants, issus de 10 propriétés viticoles différentes et répartis en 4 groupes (3 interventions et 1 contrôle), ont finalement été inclus dans l'analyse.

Les résultats de cette seconde étude interventionnelle sont dans la lignée des résultats de la Contribution 3. Ainsi, de manière semblable, nos résultats ont confirmé que l'activité professionnelle augmentait l'intensité des douleurs perçues, et ce, quelle que soit la modalité d'échauffement réalisée. La fréquence cardiaque augmente dans les trois modalités d'échauffement pendant la réalisation des exercices, mais elle augmente de manière plus importante dans la modalité dynamique. En plus d'un effet sur la fréquence cardiaque, la qualité de travail était significativement plus élevée dans la modalité stretching. Dans cette étude, comme dans la contribution 3, la modalité hybride augmentait également le sentiment d'être prêt à commencer le travail. La modalité dynamique semble intéressante, car elle présente une performance au travail significativement plus élevée, une charge de travail perçue significativement plus faible en plus des effets également observés dans la modalité hybride sur la FC et le sentiment d'être prêt à commencer le travail. Enfin, les résultats au test visuo-moteur semblent indiquer une fatigue cognitive induite par les 3h de travail avec ou sans échauffement.

Dans leur ensemble, les résultats de ce travail doctoral ont montré que (1) peu d'études ont évalué les effets de programmes d'échauffements réalisés sur le lieu de travail sur la douleur, la performance, les capacités physiques et les perceptions ; (2) la modalité hybride, modalité la plus répandue dans les entreprises a des effets positifs sur la performance au travail et le ressenti des personnes ; (3) la modalité stretching malgré une qualité de travail augmentée, n'entraîne pas d'effets sur les autres variables mesurées ; (4) la modalité dynamique est intéressante à proposer, car permet d'obtenir un effet plus marqué sur la fréquence cardiaque, la performance et la charge de travail perçue.

Ces résultats ouvrent des perspectives de travail intéressantes, visant d'une part à déterminer les effets à moyen terme d'un programme d'échauffement, et d'autre part à identifier les déterminants permettant de maintenir les échauffements dans le temps. Les retombées sont prometteuses et importantes puisqu'il s'agit d'être en mesure, à terme, de délivrer des interventions ciblées et personnalisées pour limiter l'apparition de TMS. Même si l'impact de l'échauffement seul sur les TMS reste encore à démontrer, les effets prometteurs observés confirment la place de l'échauffement dans une démarche globale de prévention primaire des TMS.

Detailed abstract

Musculoskeletal disorders (MSDs) are defined as painful disorders of the musculoskeletal system that can affect muscles, nerves, tendons or joints. These disabilities have a negative impact on the range of motion of the upper limbs and spine, on muscle strength and endurance, and ultimately the quality of life of the person. It should be noted that no occupational sector is spared but that the agricultural sector, and especially viticulture, have a high prevalence of MSDs.

A number of preventive measures are available, including work organization, the purchase of more ergonomic equipment and the implementation of physical activity programs at the workplace. Although promising for the prevention of MSDs, these programs that generally offer 30 to 60 minutes of strengthening and stretching sessions several times a week can be complex to implement. In addition, many companies in viticulture are turning to another solution: setting up warm-up programs at the workplace before work shift. These companies bet that the positive effects of warm-ups on performance and risk of injury, recognized and well documented in sports, are transferable to the workplace. However, to date, very few studies evaluating the effects on MSDs of workplace heating programs have been published in scientific journals. In this context, the main objective of this thesis was to design, implement and evaluate the effects of warm-up programs to prevent or limit the worsening of MSDs in the viticulture sector.

To meet these objectives, a systematic review was initially conducted to identify from published literature the available evidence regarding the effects of warm-up intervention on MSDs and physical and psychosocial functions (Study 1 and Study 2). This systematic review, which constitutes the basis of this thesis, has highlighted several important elements. First, it highlighted a significant “gap” between the growing interests of companies in this type of intervention (high number of articles in the “grey” literature) and the number of articles published in scientific journals. Indeed, despite the inclusion criteria that are voluntary not very restrictive, only three studies which have evaluated the impact of a warm-up in the workplace on the pain and physical abilities of workers have been identified in the systematic review. In a second phase, this review identified 3 different warm-up modalities in the studies (stretching, dynamic and hybrid), modalities also frequently found in sports. Finally, this systematic review showed that no studies have so far been carried out in the agricultural sector, which at the same time underlines the importance of designing, implementing and evaluating the effects of this type of program in this sector.

These findings then encouraged us to design and implement a randomized cross-study (Study 3) among 31 vineyard workers. The objective of this study was to assess the immediate effects of hybrid warm-up on pain, heart rate, work performance and perceptions. Our results first confirmed that the activities carried out by employees in this sector increased the intensity of perceived pain. However, this increase in pain during the first hour of work was similar with or without a warm-up intervention. Then, this study showed that the hybrid modality led to an increase in heart rate throughout the performance of the warm-up exercises which therefore allows the employee to get closer to the cardiac demand of the work activity performed. Finally, this study showed that work performance, perceived quality of work and the readiness to work increase when workers experience a warm-up. The positive results obtained over 1h of work with the hybrid warm-up modality questioned us on the persistence of the effects of a warm-up in the working day. The contrasting results on pain in Study 3 and the results of the systematic review led us to compare different warm-up modalities.

Thus, the objectives of the second interventional study (Study 4 and Study 5) were to analyze and compare the acute effects of a single session of three warm-up modalities identified in the systematic review: the “HYBRID”, “STRETCHING” and “DYNAMIC” modalities. 92 participants, from 10 different companies and divided into 4 groups (3 interventions and 1 control), were finally included in the analysis. The variables measured in this study were pain, heart rate, work performance, grip strength, flexibility, visuo-motor perceptions and abilities. The results of this second interventional study are in line with the results of the first one (Study 3). Indeed, pain increases with work, regardless of the warm-up modality. Work performance was significantly higher in the dynamic modality compared to the control group. The heart rate increases in the three heating modalities during the exercises but it increases more significantly in the dynamic modality. The readiness to work was significantly better in the Hybrid and Dynamic modalities compared to the control group, the perceived workload was significantly lower in the Dynamic group and the quality of work was higher in the Stretching modality. Finally, the visuo-motor test results seem to indicate cognitive fatigue induced by the 3 hours of work.

Overall, the results of this thesis have shown that (1) few studies have evaluated the effects of workplace warm-up programs on pain, performance, physical abilities and perceptions; (2) the hybrid modality, the most common modality in companies, has positive effects on the performance at work and the feeling of people; (3) the stretching modality despite an increased quality of work, does not have effects on the measured variables; (4) the dynamic

modality is interesting to propose because it allows to obtain a more marked effect on the heart rate, the performance and the perceived workload.

These results open up the perspectives to further assess the medium-term effects of a warm-up program, and identify the determinants for maintaining warm-ups over time. The benefits are promising and important, since it is a matter of being able, over time, to deliver targeted and personalized interventions among workers with MSDs. Although the impact of warm-up alone on MSDs is questionable, the promising effects observed confirm the place of warm-up programs in a global approach in primary prevention of MSDs.

Financements

Cette thèse a bénéficié du dispositif CIFRE (n° 2019/0488) mis en place par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche via l'Association Nationale Recherche Technologie (ANRT). Une convention a ainsi été signée entre l'Université Grenoble Alpes, via le laboratoire AGEIS, et l'entreprise Opti'Mouv. L'entreprise Opti'Mouv bénéficie également du statut de Jeune Entreprise Universitaire.

Remerciements

Avec la rédaction de ce manuscrit, c'est un chapitre très important de ma vie qui vient se clore. Ces quatre années ont été incroyablement intenses émotionnellement, avec des hauts et des bas, des craintes, des doutes, des départs et une arrivée. Et quelle arrivée ! Marius, tu as déboulé dans ma vie tambours battants, tu as tout chamboulé et l'adaptation fut difficile. Mais tu es la plus belle chose qui me soit arrivée, et je te dédie ce travail.

Mes premiers remerciements vont naturellement vers mes deux directeurs de thèse, Nicolas et Romain, pour la confiance que vous m'avez accordée. Un grand merci Nicolas. Merci pour ta disponibilité, ton soutien infaillible et tes conseils précieux. Tu ne cesses de me surprendre par ta qualité d'analyse, ton expertise et ta capacité de travail hors norme et j'espère continuer d'avoir des échanges de qualité avec toi. J'adore particulièrement quand tu te sers de notre passion commune, le judo, pour illustrer tes propos quant à l'adversité et les challenges à surmonter. Merci pour tout.

Romain, comment exprimer en quelques mots toute ma reconnaissance et ma gratitude. Depuis plus de 6 ans, nos projets professionnels sont communs, et nous avons évolué ensemble. J'étais là pour ta soutenance de thèse sans me douter que quelques années plus tard, je sois à ta place. Je ne regrette pas de t'avoir mis une raclée au tennis pour mon « entretien » de stage de Master 2 ! Tu m'as couvé, façonné, parfois malmené, mais toujours avec le souci de me faire grandir et de me permettre de m'épanouir. Tu m'as tellement appris et je t'en serai éternellement reconnaissant.

Je remercie également l'ensemble des membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'évaluer mon travail doctoral. Merci au Professeur Stéphane Mandigout (Université de Limoges) et au Docteur Davy Laroche (Université de Dijon-Bourgogne) d'avoir accepté de rapporter cette thèse de doctorat. Merci au Docteur Aurélie Landry (Université Grenoble Alpes) et au Docteur Julien Pierre (Université de Strasbourg) d'avoir examiné le manuscrit. Un merci tout particulier au Professeur Patrice Flore (Université Grenoble Alpes) pour avoir accepté de présider ce jury.

Un grand merci à l'ensemble des personnes qui ont participé à mes deux études interventionnelles. Merci aux salariés d'ARES Coop, du Château Beychevelle, du Château Calon Ségur, du Château Camensac, du Château Clarke, du Château Gruaud Larose, du Château Haut Bages Libéral, du Château Labégorce, du Château Lynch Bages, du Château Palmer, du Château Phélan Ségur et des Vignobles de Larose.

Mes remerciements vont évidemment ensuite vers ma famille. Maman, Papa, vous m'avez laissé quitter le coton familial et prendre mon envol sur les terres girondines. J'ai toujours pu compter sur votre soutien et plus important, sur votre amour indéfectible. Ces dernières années n'ont pas été de tout repos, mais la distance et l'adversité n'ont fait que renforcer cet amour. Je profite de ces quelques mots pour vous remercier d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Mon Kiki, merci pour les rares mais précieux moments passés ensemble ces dernières années. Malgré ton détachement légendaire, je sais à quel point tu es fier de ton grand frère et rien ne me fait plus plaisir. Merci à toute la belle-famille pour le soutien, et en particulier à Chantal, Nano et Yoyo.

Merci à mes amis drômois pour le soutien à votre exilé préféré. Merci pour ces moments partagés, ces apéros, ces temps suspendus qui m'ont permis de m'oxygéner et de repartir gonflé à bloc ! Merci à Anaïs, Audrey, Laurie, Lisa, Louise, Mathilde, Baptiste, Benj, Flo, Lilian et Mouy ! Merci également à mes collègues...euh mes amis girondins ! Merci Alex, merci Solène pour ces années ensemble.

Enfin, la meilleure pour la fin, mon amour de toujours. Alicia, tellement de choses se sont passées pendant ces quatre années et je sais à quel point cela a pu être compliqué pour toi. Merci pour ton soutien et ton amour sans failles. Tellement de beaux projets nous attendent et j'ai hâte d'ouvrir le nouveau chapitre de notre vie à tes côtés.

Contributions scientifiques

Ce travail a fait l'objet de contributions scientifiques publiées dans des journaux internationaux à comité de lecture :

1. *Larinier N, Balaguier R, Vuillerme N. How much do we know about the effectiveness of warm-up intervention on work related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions: protocol for a systematic review. BMJ Open 2020;10:e039063. DOI : 10.1136/bmjopen-2020-039063*
2. *Larinier N, Vuillerme N, Balaguier R. Effectiveness of warm-up interventions on work-related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions among workers: a systematic review. BMJ Open 2023;0:e056560. DOI:10.1136/ bmjopen-2021-056560*
3. *Larinier, N., Vuillerme, N., Jadaud, A., Malherbe, S., & Balaguier, R. (2022). Effects of a warm-up intervention at the workplace on pain, heart rate, work performance, and psychological perception among vineyard workers, Journal of Agromedicine, 28:3, 561-575, DOI: 10.1080/1059924X.2023.2173690.*
4. *Larinier, N., Vuillerme, N., Jadaud, A., Malherbe, S., & Balaguier, R. (2022). Exploring acute effects of workplace warm-up intervention on pain, physical capacities, and productivity in agriculture:-A study protocol. Work, 843 – 858. DOI : 10.3233/WOR-220391*
5. *Larinier, N., Vuillerme, N., Jadaud, A. et al. Acute Effects of a Warm-Up Intervention on Pain, Productivity, Physical Capacities and Psychological Perceptions Among Vineyard Workers: a Cluster Randomized Trial. J Occup Rehabil (2023). DOI: 10.1007/s10926-023-10134-2*

Liste des abréviations

TMS: Troubles Musculo-Squelettiques

MSA: Mutuelle Sociale Agricole

EU-OSHA : European Agency for Safety and Health at Work (Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail)

RPS : Risques Psycho-Sociaux

HTA : Hyper Tension Artérielle

AP : Activité Physique

APA : Activité Physique Adaptée

DOMS : Delayed Onset Muscle Soreness

INRS : Institut National de Recherche et Sécurité

FC : Fréquence Cardiaque

FCMax : Fréquence Cardiaque Maximale

FCMThéorique : Fréquence Cardiaque Maximale Théorique

FCRelative : Fréquence Cardiaque Relative

FCRepos : Fréquence Cardiaque de Repos

FCEffort : Fréquence Cardiaque d'Effort

RCT : Randomized Controlled Trial

Non-RCT : Non Randomized Controlled Trial

Liste des tables

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des 3 études incluses dans la revue (Contribution 2) et des 2 études interventionnelles de ce travail doctoral (Contribution 3 et 5)

Tableau 2 : Données démographiques des populations des Contribution 3 et 5

Liste des figures

Figure 1 : Evolution du nombre de publications par an depuis 1990 sur la base de données Pubmed avec les mots clés "Work-related Musculo-Skeletal Disorders"

Figure 2 : Évolution du nombre de MP par grandes familles sur la période 2014-2021 (le nombre de TMS est à multiplier par 10)

Figure 3 : Modèle multidimensionnel des déterminants des Troubles Musculo-Squelettiques. Adapté de Roquelaure (2016)

Figure 4 : Niveaux d'activité physique de loisir et d'activité physique liée au travail et risque d'arrêt de travail. Adapté du modèle d'Holtermann et al (2012)

Figure 5 : Pied de vigne avant (A) et après (B) la taille par le vigneron

Figure 6 : Salarié viticole réalisant l'activité de taille de la vigne

Figure 7 : Salarié viticole réalisant des travaux de palissage avec une masse

Figure 8 : Evolution ergonomique des sécateurs utilisés pour la taille de la vigne

Figure 9 : Utilisation d'un exosquelette de type harnais de posture pendant la taille de la vigne

Table des matières

Résumé	I
Abstract	III
Résumé détaillé	V
Detailed abstract	VIII
Financements	XI
Remerciements	XII
Contributions scientifiques	XIV
Liste des abréviations	XV
Liste des tables	XVI
Liste des figures	XVII
Partie 1. Introduction générale	21
1.1. Les troubles musculo-squelettiques	21
1.1.1. Les troubles musculo-squelettiques, problème majeur de santé publique	21
1.1.2. Viticulture	24
1.1.3. Facteurs de risque des TMS	24
1.1.3.1. Facteurs de risque biomécaniques	25
1.1.3.2. Facteurs de risque environnementaux	27
1.1.3.3. Facteurs de risque organisationnels	28
1.1.3.4. Facteurs de risque psychosociaux	29
1.1.3.5. Facteurs de risque individuels	29
1.1.4. Caractéristiques des activités en viticulture	32
1.1.4.1. Saisonnalité des activités	32
1.1.4.2. Contraintes biomécaniques en viticulture	34
1.1.5. Impact des troubles musculo-squelettiques à l'échelle du salarié	36
1.1.6. Moyens de prévention des troubles musculo-squelettiques	38
1.1.6.1. Approche biomécanique	38
1.1.6.1.1. Evolution des outils de travail	38
1.1.6.2. Approche organisationnelle	41
1.1.6.3. Approche individuelle	42
1.1.6.3.1. Activité physique	42
1.1.6.3.2. Echauffements	43
1.2. L'échauffement dans le milieu sportif	44

1.2.1.	Objectifs	44
1.2.1.1.	Amélioration de la performance	44
1.2.1.2.	Prévention des blessures	45
1.2.2.	Mécanismes.....	45
1.2.2.1.	Echauffement actif versus échauffement passif	46
1.3.	Activité physique sur le lieu de travail en viticulture	46
1.4.	Problématique.....	48
1.5.	Objectifs scientifiques	48
Partie 2.	Etat de l’art de l’impact des échauffements réalisés sur le lieu de travail sur les Troubles Musculo-Squelettiques.....	50
2.1.	Protocole de revue systématique	50
2.2.	Revue systématique	52
2.2.1.	Résultats de la revue systématique.....	90
2.2.1.1.	Nombre d’études.....	90
2.2.1.2.	Modalités d’échauffement	90
2.2.1.3.	Secteur viticole	91
Partie 3.	Contributions doctorales	92
3.1.	Effets d’un échauffement sur la douleur, la fréquence cardiaque, la performance au travail et les perceptions auprès de salariés viticoles.....	92
3.1.1.	Résultats de la contribution 3.....	118
3.1.1.1.	Effet sur la douleur	118
3.1.1.2.	Effet sur la performance au travail	118
3.1.1.3.	Effet sur la fréquence cardiaque	118
3.1.1.4.	Effet sur les perceptions.....	119
3.1.1.5.	Limites	119
3.1.1.6.	Perspectives	120
3.2.	Explorer les effets immédiats d’une session d’échauffement sur la douleur, les capacités physiques et la productivité en agriculture : protocole d’étude	121
3.3.	Effets immédiats d’une session d’échauffement sur la douleur, la productivité et les capacités physiques chez des salariés viticoles : Etude randomisée contrôlée en grappes	122
3.3.1.	Résultats de la contribution 5.....	156
3.3.1.1.	Effet sur la douleur	156
3.3.1.2.	Effet sur la performance au travail	156
3.3.1.3.	Effet sur la fréquence cardiaque	156

3.3.1.4. Effet sur les perceptions.....	157
3.3.1.5. Effet sur les capacités physiques	157
3.3.1.6. Limites	158
Partie 4. Discussion générale	159
4.1. Apports scientifiques de la thèse	159
4.1.1. Des échauffements en entreprise peu étudiés dans la littérature scientifique ..	159
4.1.1.1. Population.....	161
4.1.1.2. Intervention.....	162
4.1.1.3. Variables.....	164
4.1.2. La modalité d'échauffement hybride a des effets positifs sur la performance et les perceptions liées au travail chez des salariés viticoles	172
4.1.3. La modalité d'échauffement Dynamique est celle qui a le plus d'effets sur la performance, la fréquence cardiaque et les perceptions chez des salariés viticoles	175
4.2. Limites	180
4.2.1. Population étudiée	180
4.2.2. Durée des études.....	182
4.2.3. Echauffements réalisés	183
4.2.4. Variables et tests utilisés	184
4.3. Perspectives	186
4.4. Conclusion	189
Bibliographie.....	192
ANNEXES	210
Annexe 1. Contribution 1	211
Annexe 2. Contribution 4	230

Partie 1. Introduction générale

1.1. Les troubles musculo-squelettiques

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) sont définis comme des atteintes douloureuses de l'appareil locomoteur qui peuvent toucher muscles, nerfs, tendons ou articulations (Punnett, 2014). Les TMS affectent de manière plus fréquente le rachis lombaire et les membres supérieurs (Govaerts et al., 2021; Punnett, 2014) et trouvent leur origine principalement dans la réalisation de l'activité professionnelle. La composante professionnelle peut intervenir dans l'apparition, le maintien ou l'aggravation de TMS. Les TMS les plus courants sont les tendinopathies comme le syndrome du canal carpien, le syndrome de la coiffe des rotateurs, ou l'épicondylite au coude. Les troubles affectant le rachis comme les lombalgies, les cervicalgies, le lumbago ou la sciatique sont aussi extrêmement répandus. Tous ces troubles très différents les uns des autres, ont un caractère commun essentiel: ils résultent d'une inadéquation entre les capacités physiques et psychologiques de la personne et les sollicitations ou contraintes professionnelles auxquelles elle est exposée. Les manifestations cliniques les plus répandues lorsqu'une personne est atteinte d'un TMS sont la douleur, la raideur, une perte de force ou une perte d'habileté (Bernal et al., 2015; Punnett and Wegman, 2004; Woolf et al., 2012).

1.1.1. Les troubles musculo-squelettiques, problème majeur de santé publique

Les TMS sont aujourd'hui considérés comme un problème de santé publique majeur aussi bien en France que dans de nombreux pays industrialisés (Bevan, 2015; James et al., 2018). L'étude de James et coll. (James et al., 2018) parue dans le journal « The Lancet » a mis en avant que dans une grande proportion des pays étudiés (126 sur 195), les TMS qui touchent le rachis étaient l'affection responsable du plus grand nombre d'années passées avec un trouble (Caruso and Waters, 2008) et que leur nombre a augmenté de plus de 50% depuis 1990 (Bevan, 2015). Plusieurs études épidémiologiques alertent sur le fait que près de 80% de la population des pays industrialisés sera confrontée au moins une fois dans sa vie à des atteintes douloureuses du rachis lombaire (Foster et al., 2018; Hartvigsen et al., 2018; James et al., 2018). En France, les TMS représentent en 2021 près de 86% des nouvelles maladies professionnelles selon l'assurance maladie et les affections qui touchent le rachis représentent 20 % des accidents du travail (Rapport annuel 2021 de l'Assurance Maladie – risques professionnels). L'étude de Parot-Schinkel et coll. (Parot-Schinkel et al., 2012) a montré que

83.5% d'une population de 3,710 travailleurs français étaient concernés par des TMS dans les 12 derniers mois précédant l'enquête. Aussi, il est facile de comprendre que les TMS sont au centre d'enjeux sociétaux et économiques importants. En 2021, l'Assurance Maladie a engagé plus de 63 millions d'euros pour accompagner financièrement les entreprises dans la démarche de prévention des TMS. Toujours d'après l'Assurance Maladie, en 2017, en France, le coût direct des TMS pour les entreprises s'est élevé à près de deux milliards d'euros à travers leurs cotisations accidents du travail et maladies professionnelles (AT/MP). Aux coûts directs des TMS s'ajoutent habituellement les coûts dits indirects qui englobent entre autres les dépenses liées au recrutement de salariés pour remplacer la personne absente, les dépenses de formation, ou encore la perte de productivité lorsque le salarié reste en poste, mais présente des douleurs (Leijten et al., 2014; Zhang et al., 2016). Dans le cas où le salarié est symptomatique, mais toujours en poste, la perte de production a été estimée à environ 1,5h sur une journée de travail de 8h par Lötters et coll. (Lötters et al., 2005).

Malgré les dispositifs d'aide mis en place et une littérature scientifique de plus en plus abondante sur les TMS (Figure 1), le nombre de maladies professionnelles liées aux TMS stagne en France à un niveau élevé là où la majorité des maladies professionnelles liées aux autres risques professionnels (amiante, cancers,...) diminue (Figure 2).

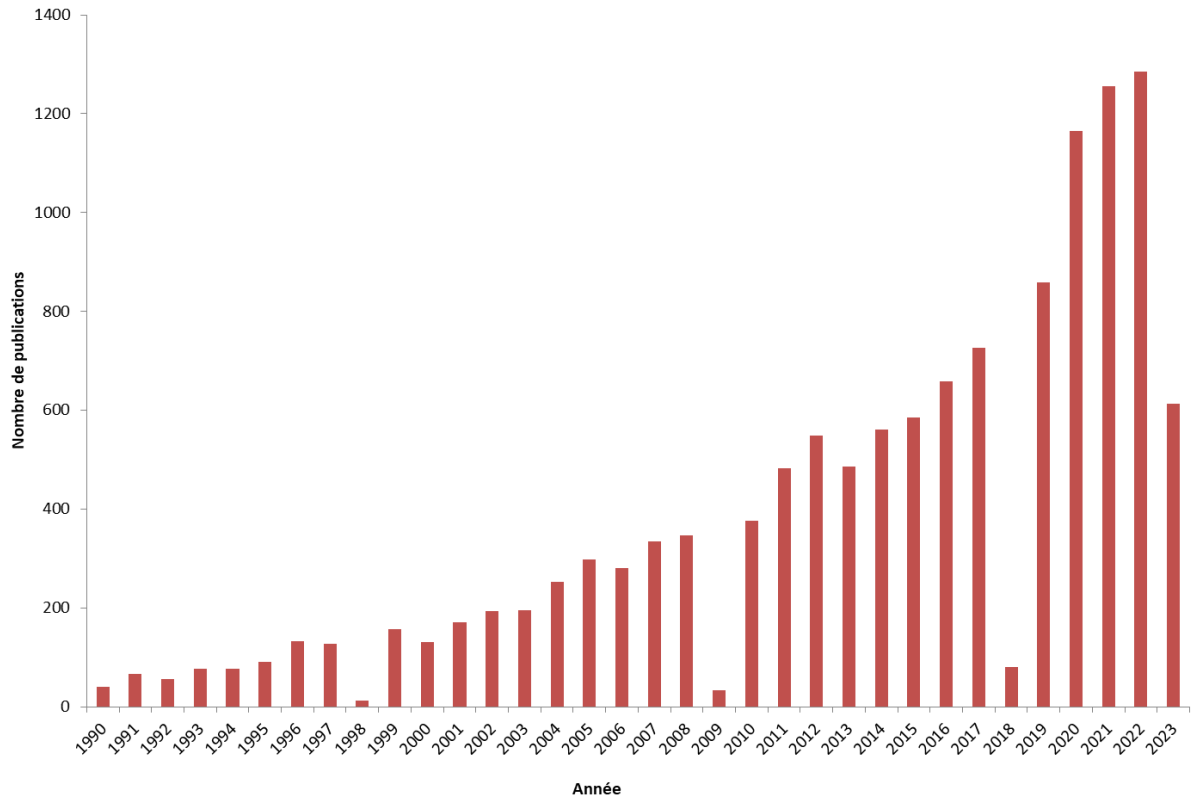


Figure 1. Evolution du nombre de publications par an depuis 1990 sur la base de données Pubmed avec les mots clés "Work-related Musculo-Skeletal Disorders" en juin 2023

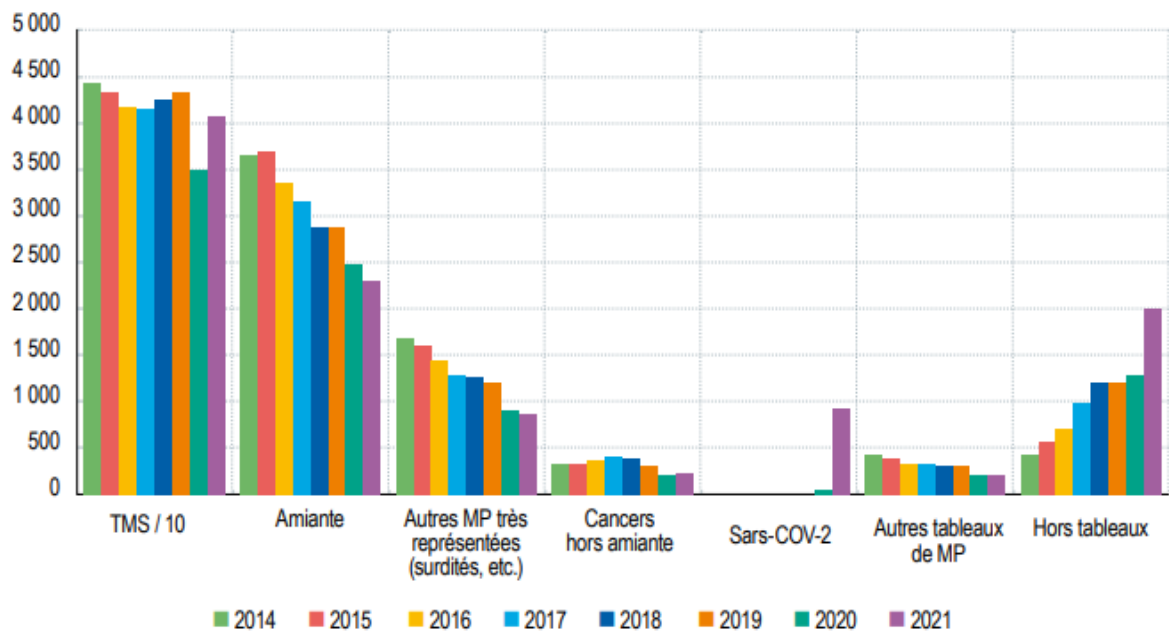


Figure 2. Évolution du nombre de Maladies Professionnelles par grandes familles sur la période 2014-2021 (le nombre de TMS est à multiplier par 10) selon l'Assurance Maladie

Peu de pays industrialisés sont épargnés par ce problème de santé publique qui touche de nombreux secteurs professionnels (Anderson and Oakman, 2016; Umer et al., 2018; Wang et al., 2015; Xu et al., 2013). En France, ces atteintes à la santé sont à l'origine de 800 000 journées de travail perdues dans le secteur du transport et de la logistique, 930 000 dans le secteur agro-alimentaire ou encore 1 500 000 dans le secteur du commerce. L'agriculture compte également parmi les secteurs d'activité les plus touchés par les TMS (Barneo-Alcántara et al., 2021; Bernard et al., 2011; Widanarko et al., 2011). Dans ce secteur professionnel, les TMS sont responsables de près de 800 000 journées de travail perdues chaque année en France, et à l'origine de 40 millions d'euros de versement d'indemnités journalières pour le seul secteur viticole (Mutuelle Sociale Agricole. Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles. Bilan national 2012-2016).

1.1.2. Viticulture

Selon la Mutuelle Sociale Agricole (MSA), plus de 60% des travailleurs déclarent ressentir des douleurs au niveau du rachis lombaire et 30% au niveau du membre supérieur dans le secteur viticole. Ces données font de la viticulture le secteur agricole le plus concerné par les TMS, avec 20,9% du total des TMS graves en agriculture (MSA. Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles. Bilan national 2012-2016). Par exemple, dans l'étude épidémiologique de Bernard et coll. (Bernard et al., 2011), conduite au sein d'une population de 4000 salariés viticoles français, la prévalence de symptômes musculo-squelettiques était de 50% dans la région lombarde, de 33% pour les membres supérieurs et de 30% pour le rachis cervical. Ces chiffres peuvent s'expliquer par la présence de nombreux facteurs de risque des TMS dans le secteur viticole.

1.1.3. Facteurs de risque des TMS

La littérature scientifique reconnaît l'origine multifactorielle des TMS. Ces différents facteurs, pouvant expliquer la survenue ou l'aggravation de TMS, sont communément appelés « facteurs de risque » et regroupés en cinq grandes catégories (Roquelaure, 2016), (1) les facteurs de risque biomécaniques, (2) environnementaux, (3) organisationnels, (4) psychosociaux et (5) individuels. Roquelaure dans son étude publiée en 2016 (Roquelaure, 2016) a proposé un modèle multidimensionnel (Figure 3) regroupant l'ensemble de ces facteurs de risque et leurs interactions dans l'apparition de TMS.

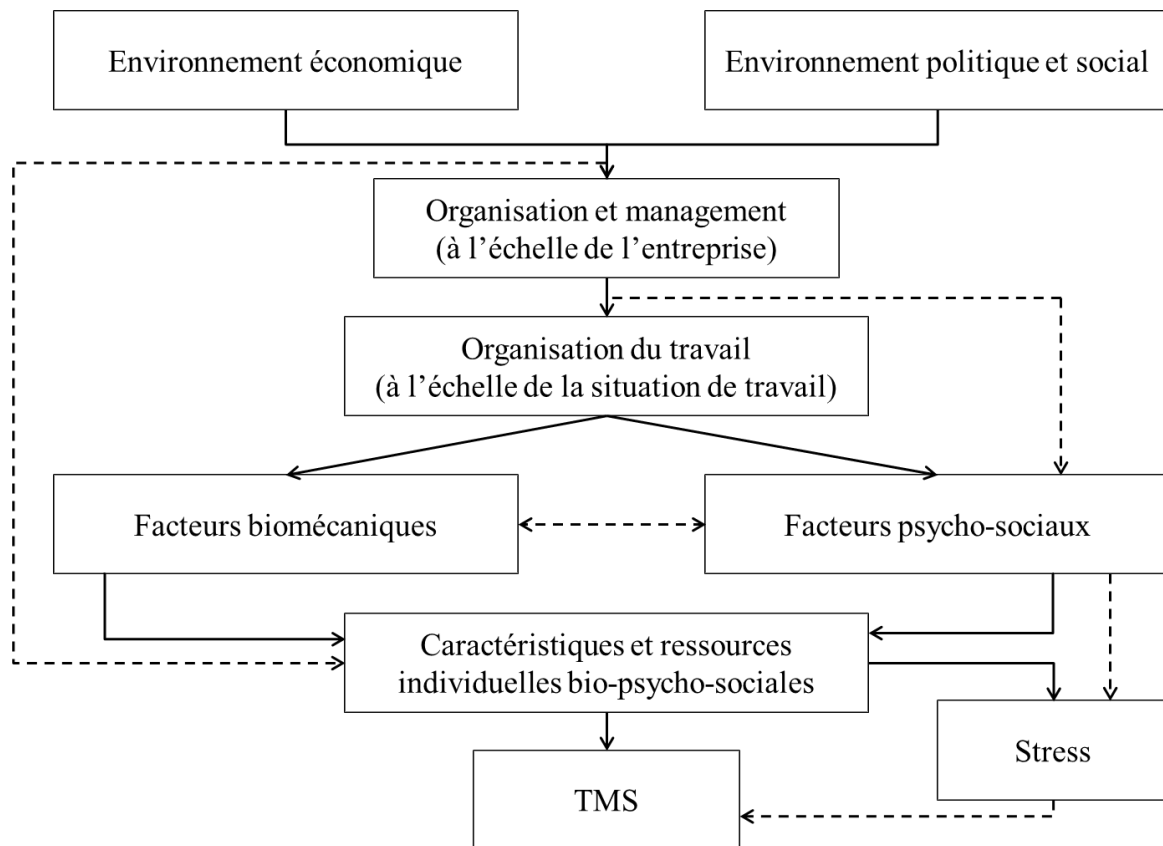


Figure 3. Modèle multidimensionnel des déterminants des Troubles Musculo-Squelettiques.

Adapté de Roquelaure (2016)

1.1.3.1. Facteurs de risque biomécaniques

- **Les postures de travail**

Les postures à risque sont fréquemment désignées comme le facteur majeur lorsque le sujet des facteurs de risque biomécaniques des TMS est abordé. La posture fait notamment l'objet d'une norme NF EN 1005-4 selon laquelle sont considérées comme plus à risque, les postures les plus éloignées des zones de confort articulaires. En effet, les articulations sont toutes limitées anatomiquement en termes d'amplitude afin de préserver les structures concernées par le mouvement. Ces zones de confort correspondent à des angles de l'articulation dans

lesquels les mouvements sont peu contraignants pour les structures articulaires et musculaires. L'agriculture se caractérise par des conditions de travail qui exposent les travailleurs à des risques biomécaniques de TMS, comme illustré par les données de l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA). Bon nombre des facteurs qui déterminent le risque biomécanique sont difficiles à gérer ou à corriger, car ils dépendent de tâches non normalisées exécutées par le travailleur (Bernard et al., 2011; da Costa and Vieira, 2010).

- **La force et le type de contraction**

Certaines situations de travail nécessitent de développer une force importante. Ces situations, qui se présentent généralement lors des tâches de manutention d'objets lourds (<25kg), peuvent engendrer différentes lésions lorsque le corps de l'individu n'est pas capable de produire cette force ou de répéter plusieurs fois cette action. Plus un muscle augmente sa force de contraction, plus la traction sur ses myofibrilles (composants du muscle) et sur les tendons est forte. La force maximale correspond à la plus grande force qu'une personne, ici un travailleur, peut exercer pour un groupe musculaire ou une action donnée. Cette force maximale n'est pratiquement jamais utilisée dans le cadre du travail. Des dégâts au niveau des structures musculaires et articulaires apparaissent lorsque l'intensité de la force atteint 20% de la force maximale et qu'elle est associée à un temps de contraction important (Coenen et al., 2013; Marras et al., 1995; Sjøgaard and Sjøgaard, 1998). Il existe plusieurs types de contraction musculaire, et les quatre plus communs sont :

- Concentrique, contraction avec raccourcissement du muscle
- Isométrique, contraction sans modification de longueur
- Excentrique, contraction avec allongement du muscle
- Pliométrique, succession immédiate de deux états musculaires, le premier étant une phase excentrique, le deuxième une phase concentrique.

La force développable est différente pour chaque contraction. Ainsi, la force maximum en excentrique serait 13,5% plus élevée qu'en isométrique et 39,7% plus élevée qu'en contraction concentrique (Doss and Karpovich, 1965). En fonction du mouvement effectué (pousser, tirer, retenir,..) le type de contraction utilisé n'est pas le même et cela peut avoir un impact sur les structures myotendineuses. D'autre part, même si la force maximale développable est plus importante en contraction excentrique, certains auteurs (Seidel et al.,

2012) ont montré que c'était le type de contraction qui induisait le plus de micro-déchirures, à l'origine des courbatures (DOMS en anglais).

- **La répétitivité**

La répétitivité des gestes entraîne une sollicitation continue des mêmes structures anatomiques sans que celles-ci ne puissent disposer d'un temps de repos suffisant. En France, la gestuelle est considérée comme répétitive si :

- des mouvements identiques ou comparables du membre supérieur sont effectués toutes les 10 à 15 secondes (check-list de l'EU-OSHA, 1997)
- le temps de cycle est inférieur à 30 secondes (norme EN 1005-5, 2007)
- la même activité est exercée pendant au moins 50 % du temps de travail (norme EN 1005-5, 2007)
- la fréquence des actions techniques par membre est supérieure à 40 par minute (norme EN 1005-5, 2007)

Ces différentes normes définissent un cadre de reconnaissance des situations jugées répétitives.

- **Le temps d'exposition**

Indépendamment des notions d'angles de confort, toute position du corps peut entraîner un certain inconfort et une fatigue si elle est maintenue pendant une longue période ou répétée à de nombreuses reprises dans une journée de travail (Tissot et al., 2009). Le nombre de pauses, leur durée, leur fréquence ainsi que l'alternance des activités ont un impact sur le temps d'exposition à une situation potentiellement à risque.

1.1.3.2. Facteurs de risque environnementaux

Les facteurs de risque environnementaux représentent les facteurs qui dans l'environnement du salarié augmentent le risque de survenue d'un dommage sur la santé. L'environnement ainsi décrit comprend premièrement les facteurs climatiques (température, hygrométrie). Un taux d'humidité élevé augmente la contrainte physiologique pour les travailleurs, d'autant plus lors du port de vêtements de protection (Grimbuhler and Viel, 2018). Le froid quant à lui augmente l'intensité d'un exercice par rapport à un environnement à température ambiante (Hinde et al., 2017). En viticulture, c'est en hiver que le nombre de TMS recensés est le plus élevé, pendant la période de taille (Balaguier et al., 2017a). La taille est une activité hivernale primordiale, qui détermine aussi bien la qualité que la quantité de raisins produits et

conditionne le bon déroulement des autres activités réalisées tout au long de l'année. Pour cette activité, Bernard et coll. (Bernard et al., 2011) ont également rapporté un risque plus élevé de TMS du rachis lombaire. Ils ont avancé l'idée selon laquelle les contraintes physiques, notamment les postures adoptées par les vignerons (flexion du tronc), ainsi que la position des batteries des sécateurs électriques au bas du dos, pouvaient, en partie, contribuer à l'augmentation des risques de survenue de TMS au niveau du rachis lombaire.

Les vibrations mécaniques générées par certaines machines et transmises aux mains et aux bras peuvent quant à elles être à l'origine de troubles des membres supérieurs (Bovenzi, 2005; Bovenzi et al., 2016). En effet, ces vibrations, subies de manière répétée et prolongée, entraînent des contraintes importantes sur les structures tendineuses et peuvent être à l'origine de tendinopathies comme le syndrome du canal carpien ou l'épicondylite (Genova et al., 2020). Les vibrations transmises à l'ensemble du corps ont plutôt un impact négatif au niveau du dos et peuvent entraîner la survenue de douleurs (Barrero et al., 2019). Les salariés viticoles sont très exposés aux vibrations transmises à l'ensemble du corps lorsqu'ils conduisent des engins viticoles (Deboli et al., 2017; Muzammil et al., 2004; Scarlett et al., 2007). D'une manière générale, les facteurs de risque environnementaux accentuent les contraintes induites par les facteurs de risque biomécaniques.

1.1.3.3. Facteurs de risque organisationnels

Roquelaure fait la distinction entre les facteurs de risque organisationnels à l'échelle de l'entreprise et du management et les facteurs de risque organisationnels à l'échelle de la situation de travail (Roquelaure, 2016). Parmi les exemples de facteurs de risque organisationnels figurent les exigences de l'emploi comme les contraintes temporelles, le rythme du travail, la fréquence et la longueur des pauses ou encore l'intensité du travail (Caruso and Waters, 2008; Trinkoff et al., 2006). Concernant les horaires, il a été clairement montré que le travail de nuit ou les périodes de travail continu de plus de 12 heures représentent un terrain favorable à l'apparition de TMS (Caruso and Waters, 2008). De plus, lorsque le rythme est trop soutenu ou que le salarié ressent l'obligation de sauter ses pauses ou de prolonger ses heures de travail pour répondre aux exigences de son emploi, il a moins de temps de récupération, ce qui augmente ses risques de développer des TMS (Caruso and Waters, 2008). Le secteur viticole peut exposer ses salariés à ce type de facteurs de risque organisationnels notamment dans le cadre d'un mode de rémunération appelé le « prix fait » et basé sur la performance du salarié. Ce mode de rémunération spécifique permet au salarié d'être rémunéré en fonction de la quantité de travail réalisé. Il présente ainsi un aspect

motivationnel important pour le salarié et lui offre l'avantage de gérer son rythme de travail en fonction de ses envies, de ses capacités et de la météo. Néanmoins, il peut inciter le salarié à réaliser des journées de travail supérieures à 7h, avec une cadence élevée et peu de temps de pause, ce qui augmente le temps d'exposition aux facteurs de risques biomécaniques et psychosociaux. Historiquement et pour suivre au mieux le cycle végétatif de la vigne, i.e. la pousse de la vigne, les activités rémunérées au prix fait sont généralement les activités les plus sollicitantes d'un point de vue biomécanique comme la taille, le pliage, le sécaillage ou encore l'épamprage (Balaguier et al., 2017a; Bernard et al., 2011; Roquelaure et al., 2002).

1.1.3.4. Facteurs de risque psychosociaux

Plusieurs études se sont intéressées à l'interaction entre les risques psychosociaux (RPS) et les TMS (Bernal et al., 2015; Hauke et al., 2011; López-González et al., 2021; Menzel, 2007). Il semblerait en effet que tous les facteurs psychosociaux pouvant entraîner du stress, de la fatigue ou de l'anxiété entraîneraient également une augmentation du risque de survenue de TMS (Piranveyseh et al., 2016; Too et al., 2020). Les facteurs de risques psychosociaux les plus souvent identifiés dans la littérature scientifique sont le contrôle et l'autonomie au travail, la satisfaction procurée par le travail ainsi que le soutien et la reconnaissance des collègues et de la hiérarchie (Macdonald and Oakman, 2015). Andersen et coll. (Andersen et al., 2017) ont montré qu'un faible contrôle et un manque d'autonomie pouvaient être à l'origine de TMS, notamment au niveau de la région lombaire (HR = 1.7 [95% CI 1.2–2.3]). En viticulture, les travaux de Bernard et coll. (Bernard et al., 2011) ont par ailleurs mis en évidence qu'une faible latitude décisionnelle et que le manque de marge de manœuvre constituaient des risques psychosociaux auxquels les vigneronnes et vignerons sont fréquemment exposés.

1.1.3.5. Facteurs de risque individuels

Les facteurs de risques individuels regroupent tous les facteurs liés à l'individu. Parmi ces facteurs se trouve en premier lieu, l'âge des travailleurs. Aussi, l'avancée en âge est l'un des facteurs de risque individuel les plus importants de survenue de TMS (Widanarko et al., 2011) notamment dans le secteur viticole. Pour ce secteur professionnel, les travailleurs âgés de 40 à 60 ans, qui représentent seulement 40% de la population salariée, déclarent environ 70% des TMS (Bernard et al., 2011). Selon la MSA, c'est dans la tranche d'âge de 41 à 60 ans que le plus de TMS en viticulture est recensé (MSA. Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles. Bilan national 2012-2016). Ces troubles, s'ils deviennent chroniques, peuvent entraîner des réorientations professionnelles ou une retraite anticipée.

Par exemple, l'étude de Karpansalo et coll. (Karpansalo et al., 2002) a montré que près de 40% des retraites anticipées chez des travailleurs finlandais étaient imputables aux TMS. Dans un second temps, il est aujourd'hui clairement établi que le risque de TMS varie en fonction du sexe des salariés (Kinge et al., 2015). C'est le cas notamment du syndrome du canal carpien qui touche en moyenne plus de femmes que d'hommes (Widanarko et al., 2011). En viticulture, les TMS localisés au canal carpien sont 1,4 fois plus fréquents chez les femmes que chez les hommes selon la MSA (MSA. Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles. Bilan national 2012-2016). Néanmoins, des auteurs s'interrogent s'il s'agit réellement de facteurs physiologiques qui sont à l'origine de cette différence ou bien si elle est plutôt due à la présence de facteurs de risques biomécaniques importants pour les membres supérieurs dans des métiers socialement associés aux femmes (Widanarko et al., 2011). L'étude de Punnett et Wegman (Punnett and Wegman, 2004) a même mis en avant que la plus forte prévalence de TMS observée chez les femmes pouvait être liée au fait que ces femmes réalisent également la majorité des tâches ménagères.

Les facteurs individuels, englobent également l'hygiène de vie du salarié. Par exemple, il existe une forte prédisposition des fumeurs à développer des troubles myo-tendineux (Michienzi et al., 2015). En effet, le tabac est aujourd'hui reconnu comme néfaste pour les tendons (Zabrzyński et al., 2019). Par exemple, Baumgarten et coll. (Baumgarten et al., 2010) ont observé une association entre le tabagisme et le développement du syndrome de la coiffe des rotateurs. Ces auteurs (Baumgarten et al., 2010) ont même observé un effet dose-dépendant et temps-dépendant, c'est-à-dire que plus une personne fume un nombre important de cigarettes par jour et/ou plus elle fume depuis longtemps, plus le risque de développer une tendinite de la coiffe des rotateurs est élevé. Parmi les habitudes de vie, la sédentarité est de plus en plus mise en avant comme un facteur de risque de TMS important (Park et al., 2020). Pour rappel, les TMS sont décrits comme la conséquence d'un déséquilibre entre les demandes physiques et psychiques des activités de travail et les capacités des travailleurs. Holtermann et coll. (Holtermann et al., 2012) a proposé un modèle sur le paradoxe entre l'activité physique (AP) de loisir et l'activité physique sur le lieu de travail. Ces auteurs ont démontré que plus une personne est physiquement active sur son temps personnel, plus elle diminue ses risques d'arrêt de travail de longue durée. A contrario, Holtermann et coll. (Holtermann et al., 2012) ont aussi montré que plus le niveau d'activité physique exigé par les activités réalisées dans le cadre du travail est élevé, plus les risques d'arrêt de travail de longue durée augmentent (Figure 5).

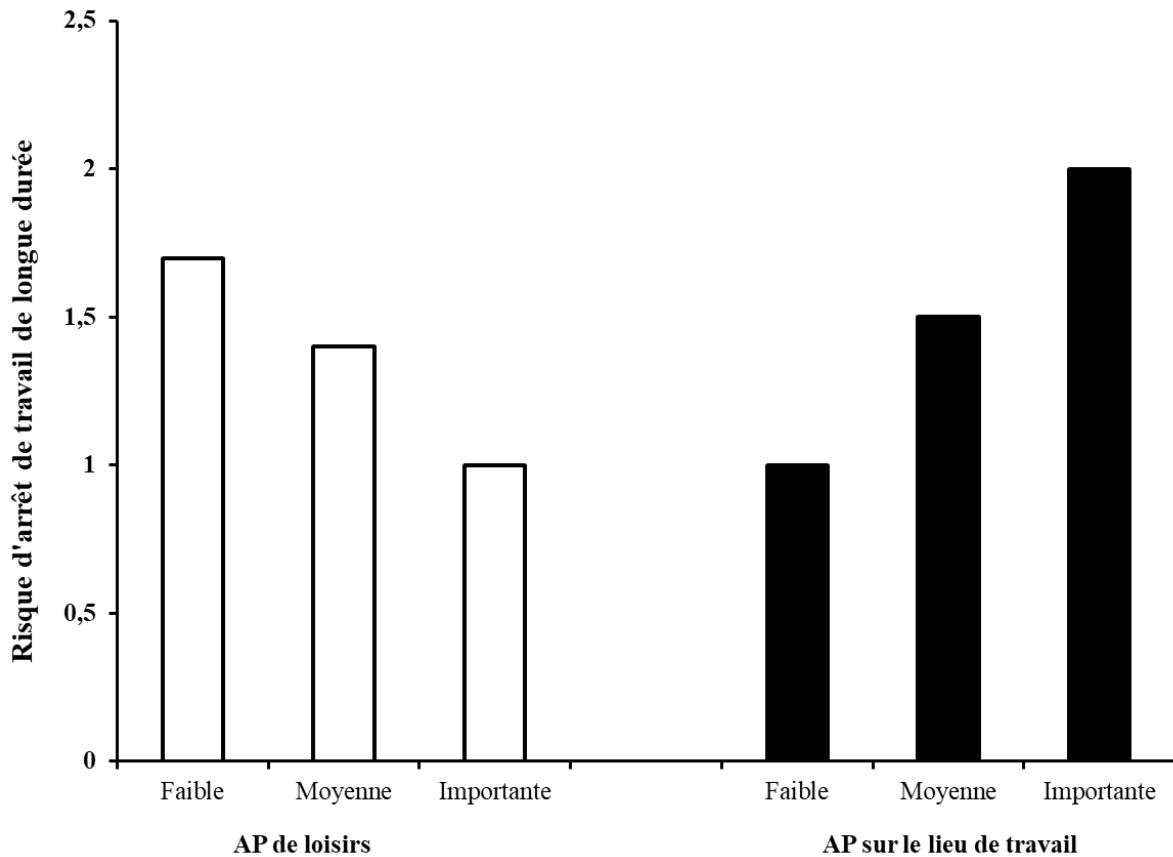


Figure 4. Niveaux d'activité physique de loisir et d'activité physique liée au travail et risque d'arrêt de travail. Adapté du modèle d'Holtermann et coll. (2012)

Concernant les salariés viticoles, il a été démontré précédemment que leur profession les soumettait à des contraintes physiques importantes. De plus, les salariés viticoles, comme d'autres travailleurs manuels, font partie d'une catégorie socio-professionnelle basse. Cette catégorie socio-professionnelle a été décrite par Kirk et Rhodes (Kirk and Rhodes, 2011) comme la population avec un des plus faibles niveaux d'AP de loisir. Les salariés viticoles cumulent donc un niveau d'AP au travail élevé et un niveau d'AP de loisir faible. Ce faible niveau d'AP de loisir se traduit par de faibles capacités physiques, notamment d'endurance musculaire. De nombreuses études se sont intéressées à la relation entre certaines capacités physiques, comme l'endurance des muscles extenseurs du rachis et les TMS (Biering-Sørensen, 1984; Latimer et al., 1999; Villafañe et al., 2016). Dans le secteur viticole, l'étude de Balaguier et coll. (Balaguier et al., 2017b) a évalué les capacités physiques (endurance des muscles du tronc, souplesse du rachis) auprès de 17 salariés. Pour évaluer l'endurance musculaire des extenseurs du rachis, c'est le test de Biering-Sorensen qui fait office de

référence dans la littérature scientifique (Biering-Sørensen, 1984; Latimer et al., 1999; Villafañe et al., 2016). Ainsi, la performance à ce test pour les ouvriers viticoles de l'étude de Balaguier et coll. (Balaguier et al., 2017b) était environ 30% moins bonne que des mineurs présentant des douleurs au niveau lombaire (Tekin et al., 2009). Or, une faible performance à ce test est fortement corrélée à un niveau de douleur important au niveau du rachis lombaire (Villafañe et al., 2016). Cette étude a donc révélé que les salariés viticoles présentaient une endurance des muscles du tronc plus faible que des personnes du même âge et souffrant de douleurs dans la région lombaire.

1.1.4. Caractéristiques des activités en viticulture

1.1.4.1. Saisonnalité des activités

Contrairement à ce que pensent les personnes non-initiées au processus de fabrication d'une bouteille de vin, l'activité des travailleurs viticoles ne se limite pas aux vendanges. Bien que cette activité à la symbolique forte soit capitale, elle n'occupe les ouvriers viticoles qu'entre 3 et 5 semaines chaque année. Les vendanges ne sont en réalité que l'aboutissement du travail de toute une année dans les vignes. En dehors de la période de vendanges, la saison viticole peut se décomposer en deux parties distinctes. Premièrement, de novembre à avril, les ouvriers travaillent sur le vignoble pour préparer la future récolte. Les pieds de vigne ont perdu leurs feuilles, la plante est dans un état végétatif, et les vigneronns s'attellent à tailler et à attacher les pieds de vigne au système de palissage. Toutes ces activités (taille, pliage, acanage/calage) permettent de réguler et d'orienter la future pousse de la plante afin de contrôler la quantité et la qualité des futures grappes de raisins. La taille est l'activité principale de la période hivernale en viticulture et s'effectue généralement de la fin du mois de novembre au début du mois d'avril. L'objectif de cette activité est d'éliminer les branches de l'année précédente afin de garder uniquement 2 « astes » qui serviront de base pour la pousse de la plante pour l'année en cours (Figure 5).



Figure 5. Pied de vigne avant (A) et après (B) la taille par le vigneron

Cette activité est une des plus importantes au cours de l'année, car elle conditionne la bonne exécution de toutes les autres activités. La taille peut se décomposer en deux sous-activités distinctes : (1) le pré-taillage et (2) l'ébourgeonnage. C'est lors du pré-taillage que le vigneron coupe toutes les branches sauf les 2 astes sélectionnés. Cette activité est réalisée à l'aide d'un sécateur électrique. Ensuite, le tailleur vient sélectionner le nombre de bourgeons souhaité, en fonction du cépage, de la parcelle et de la vigueur du pied de vigne. Il procède donc à la coupe des bourgeons non requis ou mal positionnés, toujours dans un objectif de contrôle de la pousse de la vigne afin d'optimiser la quantité et la qualité des raisins. Cette activité est appelée l'ébourgeonnage et est généralement réalisée à l'aide d'un sécateur manuel. La taille est aussi une des activités les plus à risque de survenue de TMS car (1) elle entraîne l'adoption de postures extrêmes notamment au niveau du tronc et des membres supérieurs (Balaguier et al., 2017a; Meyers et al., 2000; Roquelaure et al., 2002), (2) entraîne une grande répétitivité des mouvements du poignet (Bernard et al., 2011; Roquelaure et al., 2002) et (3) est réalisée en hiver, saison dans laquelle le froid et la pluie, 2 facteurs de risque de TMS (Grimbuhler and Viel, 2018; Hinde et al., 2017), sont des conditions météorologiques quasiment quotidiennes. Au printemps, lorsque la vigne reprend vie et commence à pousser, l'objectif reste le même : contrôler la plante et faire en sorte qu'un maximum de son énergie soit dirigé vers les grappes. L'épamprage permet par exemple d'éliminer des rameaux non-fructifères et de limiter l'encombrement des rangs de vigne afin de favoriser le passage des tracteurs. Cette activité améliore également l'aération de la végétation réduisant ainsi le risque de développement de certaines maladies ou champignons, comme le mildiou. En effet, lorsque la vigne pousse, la plus grande crainte pour les viticulteurs est de voir apparaître des maladies qui pourraient mettre en péril la récolte. Ainsi, les traitements, qu'ils soient préventifs ou curatifs, représentent une fraction importante du travail dans les vignes entre les mois d'avril et d'août. Ces traitements sont appliqués dans les parcelles de vigne depuis des tracteurs qui pulvérisent les produits sur la plante. L'ensemble des activités des ouvriers viticoles se déroulent en extérieur, les exposant parfois à des conditions climatiques difficiles (froid, humidité, chaleur), ce qui constitue un facteur de risque de survenue de TMS (Grimbuhler and Viel, 2018; Hinde et al., 2017). C'est à la suite de tous ces travaux, que les vignerons peuvent enfin récolter le fruit de leur labeur, généralement à partir de la mi-septembre pour les vins rouges de Bordeaux. À la suite des vendanges, la viticulture passe le relais aux ouvriers de « chai », dont la mission est d'assurer

la vinification et l'élevage du vin en barriques de bois ou en cuve, pendant parfois 1 ou 2 ans, avant de pouvoir enfin mettre le vin en bouteille pour sa commercialisation.

1.1.4.2. Contraintes biomécaniques en viticulture

- **Les postures de travail**

Dans le cadre de la viticulture, un certain nombre d'activités nécessitent l'adoption de postures extrêmes (Meyers et al., 2000). Ce phénomène est encore plus marqué dans certaines appellations du Bordelais, où le cahier des charges impose un mode de culture avec des vignes particulièrement proches du sol (environ 50cm). La hauteur des pieds de vigne définit l'environnement de travail des salariés viticoles et impose pour un certain nombre de tâches une adaptation posturale pour atteindre le pied induisant parfois l'adoption de postures extrêmes (Figure 6). Ce travail doctoral fait suite à celui de Romain Balaguier intitulé : « D'une analyse ergonomique en situation réelle de travail à la mise en place d'un programme d'activités physiques adaptées pour la prévention des troubles musculo-squelettiques de la région lombaire de salariés viticoles ». Balaguier et coll., dans une étude publiée dans le journal Plos One (Balaguier et al., 2017a), ont réalisé une analyse biomécanique et s'est particulièrement intéressé à la cinématique du mouvement pour le tronc lors de la taille de la vigne au sein d'une population de 15 ouvriers viticoles du Bordelais. Cette étude a montré que cet échantillon passait plus de 50% du temps d'observation avec une flexion du tronc supérieure à 30° et plus de 20% du temps avec une flexion du tronc de plus de 60°. Bien que dans l'étude de Balaguier et coll. (Balaguier et al., 2017a), le temps passé à ces angulations ne soit pas corrélé au niveau de douleur dans la région lombaire, ces résultats illustrent tout de même un risque biomécanique très important, pouvant favoriser le développement de TMS. En effet, Coenen et coll. (Coenen et al., 2013) ont montré que seulement 5% du temps de travail passé à une flexion du tronc de plus de 60% augmentait de manière significative le risque de douleur dans la région lombaire. Ce seuil semble ainsi très largement dépassé pour cette population d'ouvriers viticoles. Les postures ainsi maintenues, comme la flexion du tronc supérieure à 30°, nécessitent des contractions isométriques pendant plusieurs minutes, avec peu de temps de repos, ce qui peut engendrer des douleurs musculaires (Balaguier et al., 2017a; Freitag et al., 2007; Villumsen et al., 2015).



Figure 6. Salarié viticole réalisant l'activité de taille de la vigne

- **La répétitivité**

La viticulture est un secteur particulièrement concerné par la répétitivité des mouvements. Pour la région anatomique du tronc, le maintien dans des flexions de plus de 60° est également associé à une importante répétitivité du mouvement de flexion/extension du tronc (Balaguier et al., 2017a). En effet, les vigneronns réalisent au moins une flexion du tronc à chaque pied de vigne et selon les activités, ils interviennent sur plusieurs centaines voir milliers (pour le pliage) de pieds de vigne par jour. Le facteur de risque de répétitivité pour le tronc, sur des postures particulièrement contraignantes pour la région lombaire, est donc un élément important dans le travail d'ouvrier viticole.

Les travaux de Roquelaure et coll. (Roquelaure et al., 2020, 2002) ont également mis en avant que pendant l'activité de taille de la vigne, activité réalisée pendant plusieurs mois consécutifs, les salariés viticoles donnent en moyenne plus de 30 coups de sécateurs par minute et réalisent des mouvements de déviation ulnaire ou radiale considérés comme « extrêmes ». En considérant qu'une journée de travail dure en moyenne 7h, les vigneronns peuvent donc réaliser plus de 10 000 coups de sécateurs par jour.

- **Le port de charge**

En viticulture, le port de charges lourdes ne semble pas être le facteur de risque le plus fréquemment cité (Bernard et al., 2011; Roquelaure et al., 2002). Néanmoins, certaines activités comme les travaux de palissage, s'effectuent avec des outils relativement lourds, telle une masse de 3 à 5kg. Celle-ci est tenue à bout de bras et au-dessus de la tête pour avoir un grand bras de levier et une vitesse importante, donc une force de percussion la plus élevée possible (Figure 7).



Figure 7. Salarié viticole réalisant des travaux de palissage avec une masse

Beaucoup de salariés viticoles utilisent des engins motorisés (tracteurs, enjambeurs,...) et participent à l'entretien et la mise en place d'outils sur ces engins. Certains de ces outils peuvent être relativement lourds (30 kilogrammes pour un pulvérisateur à disque utilisé pour le travail du sol).

1.1.5. Impact des troubles musculo-squelettiques à l'échelle du salarié

Lorsqu'un salarié est atteint d'un TMS, la douleur constitue une des premières manifestations cliniques (Fernandes et al., 2018). Cette douleur peut entraîner ensuite des conséquences à plusieurs niveaux. Tout d'abord, elle peut avoir un effet direct sur les capacités physiques des personnes (Woolf et al., 2012). Aussi, l'apparition de douleurs liées à un TMS est communément accompagnée d'une baisse de la fonction voire d'une incapacité de la zone concernée (Bevan, 2015). Par exemple, les douleurs à l'avant-bras et au coude sont fréquemment associées à une baisse de force importante et une diminution de la capacité à

serrer ou à porter un objet (Lotter et al., 2021). Dans le cas plus précis d'une épicondylite, inflammation des tendons des muscles de l'avant-bras fixés sur l'épicondyle au niveau du coude, il est fréquent d'observer des conséquences dans les activités de la vie quotidienne. Par exemple, certaines personnes vont progressivement avoir des difficultés à porter un sac de course. Les douleurs et la perte de fonction associées aux TMS ont ainsi un impact sur la qualité de vie au quotidien des travailleurs (Chang et al., 2020). Cohen et coll. (Cohen et al., 2021) ont par exemple montré que les douleurs chroniques sont associées avec un plus haut taux de divorce, de suicide et d'addictions.

Il est évident qu'en plus des conséquences sur la vie quotidienne, la présence de TMS et la perte de fonction associée peuvent aussi avoir des conséquences à court, moyen et long termes sur la vie professionnelle du salarié. Par exemple, Lötters et coll. (Lötters et al., 2005) ont montré que les TMS entraînaient une diminution de productivité d'environ 1,6 heure pour une journée de travail de 8 heures, soit environ 20%. Cette perte de productivité peut dans certains secteurs et notamment le secteur viticole (secteur dans lequel des primes de « performance » sont attribuées) se traduire par une baisse significative de revenus (Leijten et al., 2014; Lötters et al., 2005; Zhang et al., 2016). Par exemple, l'étude de Wang et coll. (Wang et al., 2015) a estimé que la perte de revenus cumulée pour les travailleurs du bâtiment était de 46 millions de dollars aux Etats-Unis en 2014. En plus de la souffrance et de la pénibilité liées à la douleur et à la perte de fonction pour les activités du quotidien, une diminution des revenus peut avoir des conséquences néfastes pour la qualité de vie des travailleurs. À plus long terme, la présence de TMS affecte directement la durée de carrière de la personne. En effet, les TMS peuvent aussi favoriser le risque d'interruption de carrière, liée à une incapacité, entraînant une détérioration de la qualité de vie et du bien-être des personnes (Hauke et al., 2011; Woolf et al., 2012). La douleur et la perte de fonction ont ainsi un impact direct sur la rémunération du salarié, sa présence dans l'entreprise mais aussi à moyen et long terme sur la capacité de travail.

L'allongement de la vie professionnelle, le vieillissement de la population salariée (Bevan, 2015) et le difficile renouvellement du personnel dans ce secteur ne laissent pas présager d'une évolution favorable à l'avenir. Au regard de ces chiffres et des facteurs de risques identifiés, la prévention des TMS constitue aujourd'hui un enjeu majeur dans le secteur viticole. La question est alors de savoir quel type d'action mettre en place pour une prévention des TMS efficace et durable pour ce secteur.

1.1.6. Moyens de prévention des troubles musculo-squelettiques

La problématique des TMS est un enjeu mondial depuis plusieurs décennies (James et al., 2018) et plusieurs méthodes de prévention ont été développées, implémentées et évaluées afin de limiter aussi bien la survenue que l'aggravation de TMS (Chen et al., 2018; da Costa and Vieira, 2008; Driessen et al., 2010; Lowry et al., 2017). Ces méthodes de prévention sont généralement centrées sur un ou plusieurs facteurs de risque des TMS. Cependant, il existe de nombreux facteurs de risque des TMS et il est parfois complexe de définir le lien de cause à effet direct d'un ou plusieurs facteurs de risque sur la survenue ou l'aggravation d'un TMS. Dans la plupart des situations de travail, il existe une multitude de facteurs de risque qui, en se combinant augmentent fortement la probabilité de développer un trouble (Roquelaure, 2016). Chaque méthode de prévention s'intéressant à un facteur de risque, elles sont ainsi complémentaires pour délivrer une solution la plus complète possible afin de lutter efficacement contre la survenue ou l'aggravation des TMS.

1.1.6.1. Approche biomécanique

1.1.6.1.1. Evolution des outils de travail

Une première approche de prévention consiste notamment à diminuer l'exposition aux facteurs de risque biomécaniques auxquels sont exposés les travailleurs (Govaerts et al., 2021). Pour permettre cela, les entreprises de tout secteur investissent dans des programmes de recherche et développement ou font appel à des prestataires pour proposer à leurs salariés de nouveaux outils plus légers, plus ergonomiques ou plus rapides. Tous les secteurs professionnels sont concernés et particulièrement les secteurs qui exposent leurs salariés à des activités éprouvantes, physiques, répétitives comme le secteur viticole. En viticulture, par exemple, des efforts considérables ont été faits pour modifier les sécateurs utilisés par les ouvriers viticoles lors de la taille. Ainsi, le sécateur qui était à l'origine manuel s'est progressivement vu doté d'une poignée pivotante puis s'est complètement vu transformé pour aujourd'hui devenir électrique/pneumatique. Aujourd'hui ce matériel continue d'être développé pour toujours plus d'autonomie, de puissance et de légèreté.



Figure 8. Evolution ergonomique des sécateurs utilisés pour la taille de la vigne.

De façon intéressante, quelques études scientifiques ont évalué l'effet de ces évolutions sur la force à appliquer par les utilisateurs. Ainsi, l'apparition des sécateurs électriques réduit considérablement la force à appliquer avec le membre supérieur lors de la taille de la vigne (Roquelaure et al., 2002; Wakula et al., 2000). Néanmoins, ces nouveaux dispositifs représentent un certain poids en main (de 680g pour le Vinion de chez Pellenc à près de 900g pour le ZT40 de chez Zanon) de par l'ajout d'un système motorisé. Le poids de la batterie s'ajoute à cela et vient s'appliquer généralement dans la région lombaire. Ainsi, malgré la réduction de la force à appliquer pour chaque coupe de bois, l'ajout de poids peut avoir un effet inverse de celui désiré initialement. La recherche perpétuelle de nouveaux matériaux et d'amélioration des systèmes de batterie permet un gain de poids important et nécessaire pour la diffusion de ces nouveaux sécateurs. Par exemple, chez le fabricant Infaco, l'ensemble sécateur/batterie est passé de 3,2kg avec le F-3010 à 1,2kg avec le F3015. Ces améliorations au niveau du poids des sécateurs électriques permettent ainsi de diminuer la force à appliquer pour la taille de la vigne sans toutefois ajouter une contrainte biomécanique supplémentaire liée au poids.

Le développement de nouvelles technologies ne concerne pas uniquement les sécateurs ou le petit matériel. Depuis quelques années en agriculture, les travailleurs du secteur se dotent d'exosquelettes. Les exosquelettes sont considérés par l'INRS comme des outils d'assistance physique. Ils sont classés selon 2 critères : (1) la localisation anatomique qu'ils supportent et

(2) leur système d'alimentation en énergie (actif = énergie produite par des batteries, passif = énergie générée par un système mécanique de ressort).

Ces dispositifs, lorsqu'ils sont actifs, permettent de réduire la force à développer pour déplacer des charges lourdes ou, lorsqu'ils sont passifs, permettent de diminuer la force à développer pour maintenir une posture (Bär et al., 2021; Luger et al., 2021). Dans une revue de littérature de 2021 incluant 48 études sur les exosquelettes, Bar et coll. (Bär et al., 2021) ont mis en avant que ces dispositifs avaient des effets bénéfiques à plusieurs niveaux. Tout d'abord, Bar et coll. (Bär et al., 2021) indiquent que les exosquelettes permettent une réduction de l'activité musculaire et une diminution de l'intensité des douleurs de la zone supportée par l'exosquelette. Ces résultats encourageants ont également été retrouvés dans le secteur agricole où une diminution de 7 à 29% de l'activité musculaire a été observée lors des tâches de salariés agricoles. Bien que ces résultats fassent naître des perspectives prometteuses en matière de prévention des TMS, plusieurs revues de littérature pointent aussi du doigt les effets négatifs de ce type de dispositif (Bär et al., 2021; Kranenborg et al., 2023). La revue systématique de Kranenborg et coll. (Kranenborg et al., 2023) met en avant que l'inconfort et l'utilisabilité limitée de certains exosquelettes sont les effets négatifs les plus fréquents et que ceux-ci sont souvent responsables de l'abandon ou la non-utilisation de ces dispositifs par les travailleurs. De plus, ces revues (Bär et al., 2021; Kranenborg et al., 2023) insistent sur le fait que l'impact à long terme sur la santé de l'utilisateur d'un exosquelette est aujourd'hui inconnu.

En viticulture, de nombreuses entreprises s'intéressent à ces dispositifs et mettent en place des essais auprès de leurs salariés (Figure 7) même si à ce jour, il n'existe pas de preuves scientifiques de leur intérêt *in situ*.



Figure 9. Utilisation d'un exosquelette de type passif pendant la taille de la vigne

1.1.6.2. Approche organisationnelle

Comme vu précédemment dans la section décrivant les facteurs de risque, il existe deux niveaux de facteurs de risque organisationnels (Roquelaure, 2016). En premier lieu, des actions de prévention se focalisent sur l'aspect organisationnel à l'échelle de l'entreprise et du management (Carayon and Smith, 2000). Introduire un aspect organisationnel dans des actions de prévention des TMS doit répondre à un double objectif : l'optimisation du cadre de travail doit permettre de préserver la santé des salariés tout en améliorant la production (Caroly et al., 2010). En effet, dans une économie libérale, globalisée et très concurrentielle, les entreprises ne peuvent pas perdre de vue la logique de production et de rentabilité dans leur politique de santé et de sécurité au travail (Yazdani et al., 2015). Certaines actions se focalisent quant à elles sur les facteurs de risque organisationnels à l'échelle de la situation de travail. Lorsque la nature du travail le permet, la rotation des tâches est par exemple une composante importante dans la prévention des TMS. Elle permet de prévenir la répétitivité du travail, mais nécessite néanmoins une maîtrise de l'ensemble des tâches effectuées (Padula et al., 2017). En viticulture, la MSA recommande à ce sujet une alternance des travaux lors de la campagne de taille en insistant sur le fait que cette alternance doit être organisée avec les salariés. L'augmentation de l'autonomie des salariés est un autre moyen d'action permettant de limiter les facteurs de risque psychosociaux. Albrecht et coll. ont montré que l'augmentation de l'autonomie des salariés dans la gestion de leur temps de travail permettait

de réduire le taux d'accidents de travail (Albrecht et al., 2020). En ce sens, la méthode du « prix-fait » pourrait permettre d'améliorer l'autonomie des salariés viticoles.

1.1.6.3. Approche individuelle

1.1.6.3.1. Activité physique

Depuis plusieurs années, l'activité physique (AP) a montré des résultats très intéressants et est aujourd'hui reconnue comme un outil de prévention des TMS efficace (Coury et al., 2009; Lowry et al., 2017; Moreira-Silva et al., 2016; Sundstrup et al., 2020). La revue de Sundstrup et coll. (Sundstrup et al., 2020) a notamment montré un fort niveau de preuve concernant un effet positif du renforcement musculaire effectué sur le lieu de travail pour prévenir les conséquences des TMS comme la douleur et la perte de fonction. Par exemple, au sein d'une population de salariés viticoles, où la région lombaire est la zone la plus douloureuse, Balaguier et coll. (Balaguier et al., 2017b), ont augmenté l'endurance musculaire des extenseurs du rachis. Cette amélioration de l'endurance musculaire était accompagnée d'une diminution de la douleur dans la région lombaire. Les programmes d'AP en entreprise ont montré des effets bénéfiques lorsque certaines conditions sont réunies. Premièrement, une fréquence minimale de 2 séances par semaine semble nécessaire pour observer des effets positifs sur les capacités physiques liés aux TMS (Søgaard and Sjøgaard, 2017). Cela signifie donc que l'entreprise ou les participants doivent organiser leur temps pour y inclure les séances d'AP. Ce point peut s'avérer complexe car le manque de temps est la raison évoquée la plus fréquente (Andersen and Zebis, 2014; Dalager et al., 2015; Genin et al., 2018; Robroek et al., 2009) chez les personnes qui ne s'engagent pas ou abandonnent de tels programmes. De plus, les effets positifs semblent plus importants quand le taux de participation aux séances est élevé. Par exemple, dans l'étude de Barros et coll. (Barros et al., 2019) réalisée auprès de 40 travailleurs du secteur administratif, l'augmentation de la force et l'endurance grâce à un programme d'AP était dépendante du taux de participation des participants. Pour résumer, plus ils avaient réalisé un grand nombre de séances, plus l'augmentation des capacités physiques était importante. Afin de maintenir un haut niveau de participation, la supervision des séances par un expert semble être un facteur favorisant non-négligeable dans la lutte contre les TMS par l'AP. Parmi les différents types de programmes d'AP mis en place en entreprise, ce sont le renforcement musculaire et les étirements qui ont montré les meilleurs résultats en prévention des symptômes des TMS, surtout avec une population d'ouvriers (Maciel et al., 2018; Moreira-Silva et al., 2016; Sundstrup et al., 2020).

En effet, les employés de bureau, même s'ils bénéficient tout autant du renforcement musculaire et des étirements que les ouvriers (Chen et al., 2018), sont également sensibles à tout programme luttant contre la sédentarité (pause active, marche, course à pied,..) (Luger et al., 2019; MacEwen et al., 2015). La mise en place de renforcement musculaire peut rencontrer des difficultés organisationnelles car il nécessite également un lieu dédié ainsi que du matériel (des tapis à minima). Ainsi, bien que ces programmes soient prometteurs pour la prévention des TMS, ils sont généralement complexes à mettre en place et beaucoup d'entreprises du secteur viticole, mais également d'autres secteurs se tournent vers une autre solution : l'échauffement avant la prise de poste.

1.1.6.3.2. Echauffements

Les échauffements musculaires et articulaires pour préparer le corps à l'activité de travail et réalisés avant la prise de poste, sont de plus en plus populaires dans les entreprises, notamment les entreprises du secteur viticole. Ces échauffements sont, dans leur majorité, intégrés dans le temps de travail des salariés, pratiqués de manière routinière et quotidienne et font aujourd'hui partie intégrante des mesures de santé et sécurité au travail.

Pour apprécier la popularité de l'échauffement réalisé sur le lieu de travail, il suffit d'observer le nombre important d'études publiées dans la littérature grise. La définition la plus courante de la littérature grise est celle dite de Luxembourg : « ce qui est produit par toutes les instances du gouvernement, de l'enseignement et la recherche publique, du commerce et de l'industrie, sous un format papier ou numérique, et qui n'est pas contrôlé par l'édition commerciale » (Schöpfel, 2015). Une recherche rapide avec les mots-clés « échauffement au travail », en français, sur le moteur de recherche de Google renvoie à environ 2,2 millions de résultats et 4,5 millions de résultats avec les mots clés « warm-up exercises workplace ». De nombreux articles de presse font état de l'adoption et de la mise en place d'échauffement avant de commencer le travail dans des entreprises du bâtiment, de la logistique du transport ou encore à l'hôpital pour les professionnels de santé¹. Pour aller plus loin, des formations professionnelles non certifiantes sont aujourd'hui dispensées par des organismes témoignant de l'intérêt grandissant des entreprises pour ce type de pratique².

¹ (<https://www.ouest-france.fr/economie/entreprises/bien-etre-au-travail/salon-safexpo/kine-du-travail-faut-il-s-echauffer-au-boulot-6543508> ; <https://www.ouest-france.fr/economie/entreprises/rse-en-s-echauffant-ils-luttent-contre-les-maladies-professionnelles-5582620> ; <https://www.francebleu.fr/infos/insolite/saint-etienne-cinq-minutes-d-echauffement-pour-les-salaries-d-ikea-avant-de-se-mettre-au-travail-1490720298>; <https://www.lavoixdunord.fr/232169/article/2017-10-02/chez-dhl-seance-d-echauffement-pour-les-salaries-avant-le-boulot> ; https://www.ch-centre-bretagne.fr/?page_id=3104)

² (<https://www.neo-forma.fr/formation-echauffement-au-travail.html> ; <https://www.core-prev.com/formation-echauffement-au-travail> ; <https://teamupp.fr/formation-reveil-musculaire/> ; <https://www.propuls.fr/formations-prevention-securite/risques-physiques/mettre-en-place-lechauffement-dans-votre-entreprise/?tab=intra>)

Malgré un niveau de preuve insuffisant sur la place des échauffements dans la prévention des TMS, ce genre de programmes est très répandu en entreprise. Choi et Rajendran ont recueilli 315 questionnaires au sein de 5 entreprises du bâtiment aux Etats-Unis qui mettaient en place des programmes d'étirements (Choi and Rajendran, 2014). Parmi les répondants, 95% d'entre eux déclaraient réaliser des étirements au travail tous les jours et pour 85% d'entre eux, ces étirements étaient réalisés le matin avant de commencer le travail (Choi and Rajendran, 2014). Ces données illustrent bien la place importante des échauffements dans les entreprises malgré le faible niveau de preuve de leur réelle efficacité dans la prévention des TMS.

L'engouement des entreprises pour l'échauffement vient de l'hypothèse que les effets positifs observés en sport sur la performance et le risque de blessure sont transposables dans le milieu professionnel, et particulièrement dans les secteurs d'activité avec une forte composante physique. Néanmoins, les effets de ces échauffements pour la prévention des TMS sur le lieu de travail restent à démontrer, notamment dans le secteur viticole.

1.2. L'échauffement dans le milieu sportif

L'échauffement est issu du milieu sportif où il est un élément clé lors d'un entraînement ou d'un événement compétitif. Il est simplement défini par Brukner et Khan (Landry, 2014) comme étant « l'activité qui prépare le corps pour une activité physique ». Les deux principaux objectifs de l'échauffement dans le sport sont de permettre à l'athlète de produire la meilleure performance possible (Fradkin et al., 2010) tout en minimisant le risque de blessures (Woods et al., 2007).

1.2.1. Objectifs

1.2.1.1. Amélioration de la performance

En sport, l'échauffement vise une amélioration de la performance sportive grâce à une optimisation des capacités physiques ou cognitives requises par l'activité sportive. Selon les caractéristiques du sport, l'échauffement peut donc varier en termes d'exercices ou d'intensité. Par exemple, dans les sports collectifs (football, basket, volley-ball) ou en natation, les exercices proposés dans les échauffements permettent à l'athlète de mobiliser toutes ses facultés liées à l'explosivité (Neiva et al., 2014; Silva et al., 2018). Pour atteindre cet objectif, les échauffements mis en œuvre consistent à réaliser des exercices dynamiques pendant 10 à 15 minutes avec une intensité cardiaque située entre 50 à 90 % de la fréquence cardiaque maximale (FCmax) (Silva et al., 2018). D'autres sports requièrent une grande mobilité (amplitude de mouvement ou ROM améliorée) pour laquelle l'étirement statique a

fait ses preuves et est ainsi largement utilisé dans ce type de sports (Weerapong et al., 2004; Woods et al., 2007). Enfin, les sports avec des mouvements nécessitant de la puissance et une grande amplitude articulaire, par exemple, le tennis et le golf, utilisent généralement une combinaison d'exercices dynamiques et d'étirements, qui pourrait être appelée l'échauffement hybride (Fradkin et al., 2010; McCrary et al., 2015).

1.2.1.2. Prévention des blessures

Dans un contexte sportif, le deuxième objectif de l'échauffement est de prévenir les blessures. Les changements physiologiques causés par l'échauffement augmentent non seulement les performances musculaires, mais ont également tendance à prévenir les lésions musculaires ou articulaires (Woods et al., 2007). L'échauffement induit un mécanisme de protection aux tissus mous dont la température a été augmentée en exigeant une plus grande longueur d'étirement et de force pour produire une déchirure (Woods et al., 2007). Au niveau articulaire, l'échauffement stimule la libération de liquide synovial qui a un rôle lubrificateur diminuant les forces de friction et améliorant la fonction des articulations (Murakami et al., 2017).

1.2.2. Mécanismes

En se contractant, un muscle produit de l'énergie et dégage de la chaleur. Ainsi, lors d'un échauffement, lors duquel les muscles sont sollicités, il est fréquent d'observer une augmentation de la température corporelle. Saltin et coll. (Saltin et al., 1968) a par exemple décrit une augmentation de la température rectale de 33-34°C au repos à plus de 38,5°C lors d'un exercice à 75% de la VO₂max. De nombreux changements physiologiques sont associés à l'augmentation de température observée au cours d'une séance d'échauffement (Bishop, 2003a, 2003b; Woods et al., 2007). Par exemple, la diminution de la résistance grâce à l'amélioration des propriétés viscoélastiques des muscles et des articulations est attribuable à l'augmentation de la température musculaire (Bishop, 2003a). L'étude de Medeiros et coll. (Medeiros et al., 2016) a même observé que l'amélioration de l'amplitude du mouvement suite à la réalisation de contractions musculaires de type isométriques pendant 7 minutes (assimilable à un échauffement) était comparable à celle observée après des étirements passifs eux aussi réalisés pendant 7 minutes. D'autre part, la vasodilatation induite par l'augmentation de la température corporelle permet une augmentation du débit sanguin en direction des muscles. L'augmentation de ce débit permet ainsi une augmentation de l'apport en oxygène vers les muscles, stimulant le système aérobie (Bishop, 2003a; McGowan et al., 2015; Woods et al., 2007). Fink et coll. (Fink et al., 1975) ont été les premiers à décrire une

accélération de la dégradation du glycogène lors d'une augmentation de température. Pour aller plus loin, Febbraio et coll. (Febbraio et al., 1996), ont décrit une augmentation de la glycolyse (dégradation de glycogène en glucose), de la glycolyse (dégradation de glucose pour former de l'ATP) et de la phosphorylation de l'ADP en ATP pendant un exercice. Cette stimulation du système anaérobie permet d'améliorer les performances à court et moyen terme (Bishop, 2003a). Karvonen (Karvonen, 1992) a quant à lui démontré une amélioration des fonctions du système nerveux central ainsi qu'une augmentation du taux de conduction nerveuse consécutive à une augmentation de la température musculaire. Une optimisation des fonctions du système nerveux central peut être particulièrement bénéfique dans le cas d'activités demandant des mouvements complexes et/ou une prise de décision rapide. Bishop a également signalé que les mécanismes psychologiques associés à un échauffement peuvent contribuer à améliorer la performance (Bishop, 2003a).

1.2.2.1. Echauffement actif versus échauffement passif

Un des mécanismes principaux de l'échauffement est l'augmentation de la température intramusculaire. Ainsi, une augmentation de 1°C correspondrait à une amélioration de la performance musculaire de 2 à 5% (Racinais and Oksa, 2010). L'augmentation de la température musculaire semble corrélée à l'intensité de l'échauffement : plus l'échauffement est intense, plus la température musculaire augmente (Bishop, 2003a; McGowan et al., 2015). Cependant, lorsque l'intensité de l'échauffement dépasse 60% de VO₂max, il y a un risque important de vider les réserves de glycogène. C'est pourquoi certains auteurs se sont intéressés à la possibilité d'augmenter la température musculaire par des moyens externes comme le port de vêtements chauds ou un bain/douche d'eau chaude. Ces techniques passives, sans contraction musculaire permettraient d'augmenter la température sans utiliser de substrat énergétique et ainsi préserver les réserves pour la performance visée (compétition). Il semblerait néanmoins que l'utilisation de techniques passives d'échauffement ne soit pas suffisante pour améliorer la performance mais peut limiter la diminution de la température intramusculaire observée 10 à 15 minutes après l'arrêt de l'échauffement (McCrary et al., 2015; McGowan et al., 2015).

1.3. Activité physique sur le lieu de travail en viticulture

Il est important de noter que les travaux de ce travail doctoral font directement suite aux travaux de la thèse de Romain Balaguier. Dans cette dernière, une analyse de l'activité des vignerons, et notamment de l'activité de taille de la vigne a été réalisée. Celle-ci a mis en avant des contraintes biomécaniques particulièrement importantes pour la région lombaire.

Ensuite, l'étude de Balaguier et coll. (Balaguier et al., 2017b) a évalué un programme d'activité physique auprès de salariés viticoles. Dans cette étude conduite auprès de 17 ouvriers viticoles issus d'une seule propriété, 10 salariés viticoles furent inclus dans le groupe intervention et 7 dans le groupe contrôle. L'intervention, d'une durée de 8 semaines, consistait en un échauffement supervisé de 15 minutes avant chaque journée de travail (5 fois par semaine) associé à deux sessions supervisées d'1h d'activité physique adaptée par semaine. Ces dernières étaient constituées de 40 minutes de renforcement musculaire ciblant les fléchisseurs et les extenseurs du rachis suivies de 20 minutes d'étirement des muscles du tronc. Cette étude a ainsi mis en avant les effets d'un programme de renforcement musculaire, d'étirement et d'échauffement sur l'endurance musculaire du tronc, la souplesse et la sensibilité à la pression auprès de salariés viticoles.

Les résultats des travaux de Romain Balaguier ont permis de développer l'offre d'Opti'Mouv, jeune entreprise universitaire (JEU), avec un savoir-faire dans l'implémentation de programmes d'activité physique dans le secteur viticole afin d'améliorer les capacités physiques, de diminuer les douleurs et d'améliorer la qualité de vie au travail des salariés. Depuis 2018 et la création d'Opti'Mouv, ce sont plus de 150 à 200 personnes issues de plus d'une dizaine de propriétés viticoles qui bénéficient chaque année des programmes d'Opti'Mouv.

Dans la littérature scientifique, nombreuses études ont montré les effets positifs du renforcement musculaire et des étirements sur les TMS et les symptômes associés auprès de travailleurs. Ces études se sont intéressées à divers secteurs d'activité, avec des emplois administratifs dits de col-blanc (Abdin et al., 2018; Chen et al., 2018; Lowe and Dick, 2014), mais également à des métiers avec des contraintes physiques importantes comme le bâtiment, les usines ou le service à la personne, dits de col-bleu (da Costa and Vieira, 2008; Grimani, 2019; Lowry et al., 2017; Moreira-Silva et al., 2016). Cependant, l'effet seul des échauffements pour la prévention des TMS sur le lieu de travail reste quant à lui à démontrer, notamment dans le secteur viticole. C'est pourquoi cette nouvelle thèse, bénéficiant du dispositif CIFRE, suit la même démarche que la thèse de Romain Balaguier, à savoir concevoir, tester, valider et le cas échéant proposer des échauffements validés scientifiquement aux futurs clients d'Opti'Mouv.

1.4. Problématique

Les TMS sont un enjeu mondial. De nombreuses études s'intéressent aux TMS, aux facteurs de risque d'apparition des TMS et aux moyens de les prévenir. Aucun secteur d'activité ne semble épargné par ce phénomène mais la viticulture apparaît parmi les secteurs les plus concernés par les TMS en France. Les TMS ont un impact important sur la santé des salariés touchés. Pour prévenir ces TMS, l'Activité Physique sur le lieu de travail a déjà fait ses preuves, notamment en viticulture, mais est parfois difficile à mettre en place dans les entreprises. L'échauffement peut être un moyen de contourner ces difficultés d'implémentation. L'échauffement a déjà montré son intérêt dans le sport, notamment pour améliorer la performance et réduire le risque de blessure, mais très peu d'études se sont intéressées aux effets d'un échauffement sur les TMS dans un contexte de travail.

1.5. Objectifs scientifiques

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse était donc de concevoir, mettre en œuvre et évaluer les effets de programmes d'échauffement destinés à prévenir ou à limiter l'aggravation des TMS dans le secteur de la viticulture. Pour répondre à cet objectif, une revue systématique a dans un premier temps été conduite afin de réaliser un état des lieux de la littérature scientifique concernant les effets de programmes d'échauffement mis en œuvre sur le lieu de travail pour prévenir la survenue ou limiter l'aggravation des TMS dans le milieu professionnel (Contribution 1 et Contribution 2).

Forts des conclusions et perspectives de la revue de littérature, nous avons dans un second temps, conçu et mis en œuvre une étude croisée randomisée auprès de 31 ouvriers viticoles, salariés dans 6 propriétés différentes. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de la modalité la plus courante en entreprise, l'échauffement hybride, sur des variables associées aux TMS, à savoir la douleur, le rendement, la fréquence cardiaque et les perceptions (Contribution 3).

Les résultats prometteurs, mais contrastés concernant la douleur de cette première étude interventionnelle, ainsi que les conclusions de la revue de littérature nous ont orientés à tester différentes modalités d'échauffement dans une seconde étude interventionnelle. Ainsi, les objectifs de cette seconde étude (Contribution 4 et Contribution 5) étaient de comparer les effets sur la douleur, le rendement, la fréquence cardiaque, les capacités physiques et les perceptions d'une seule session de 15 minutes de trois modalités d'échauffement identifiées

dans la revue systématique, à savoir « HYBRIDE », « STRETCHING » et « DYNAMIQUE » auprès de 92 ouvriers viticoles, salariés dans 10 propriétés viticoles.

Pour l'entreprise Opti'Mouv, l'objectif de cette thèse CIFRE est ainsi de concevoir, tester et valider scientifiquement des échauffements pour ensuite les proposer à de futurs clients.

Partie 2. Etat de l'art de l'impact des échauffements réalisés sur le lieu de travail sur les Troubles Musculo-Squelettiques

2.1. Protocole de revue systématique

Ce protocole de revue de littérature a fait l'objet d'un article publié dans une revue internationale à comité de lecture :

Contribution 1 : *Larinier, N., Balaguier, R., & Vuillerme, N. (2020). How much do we know about the effectiveness of warm-up intervention on work related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions: protocol for a systematic review. BMJ Open, 10(11), e039063. <https://bmjopen.bmj.com/content/10/11/e039063.abstract>*

La Contribution 1 est à retrouver en annexe à la page 230.

Résumé :

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) représentent une problématique de plus en plus importante au niveau mondial et des interventions efficaces sont nécessaires pour les prévenir. L'activité physique sur le lieu de travail est maintenant reconnue comme une composante pertinente de la prévention des TMS. Dans cette optique, des interventions d'échauffement sont maintenant offertes dans un grand nombre d'entreprises pour gérer les TMS. Bien que les avantages de l'échauffement aient déjà été documentés dans le contexte sportif, l'efficacité d'une telle intervention sur le lieu de travail reste à établir. Dans ce contexte, l'objectif de cette revue systématique est d'identifier, à partir des articles scientifiques ayant fait l'objet de publications, les preuves disponibles concernant les effets de l'échauffement sur les TMS, les fonctions physiques et psychosociales.

Les quatre bases de données électroniques suivantes seront consultées (depuis leur création jusqu'en juin 2020): Cochrane Library, PubMed (Medline), Web of Science and Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Des études contrôlées randomisées et non randomisées seront incluses dans cette revue. Les participants devront être des employés adultes sans comorbidités particulières. Les interventions devront comprendre un échauffement sur le lieu de travail. Les principales variables seront la douleur, l'inconfort ou la fatigue. Les variables secondaires seront le sentiment de contrôle ou la motivation au travail. Le protocole de la revue systématique a été enregistré sur PROSPERO (CRD42019137211) et nous avons suivi les recommandations PRISMA (Preferred Reporting

Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis) fournies par Moher et coll. (Moher et al., 2010). Deux membres de l'équipe sélectionneront indépendamment toutes les citations, tous les articles en texte intégral et toutes les données de résumé. Une synthèse narrative systématique sera fournie avec les informations présentées dans le texte et les tableaux pour résumer les caractéristiques et les résultats des études incluses.

Toutes les études incluses seront conformes aux normes d'éthique actuelles. Les résultats de cette revue résumeront les effets d'un échauffement sur les TMS, les fonctions physiques et psychosociales. Cette information pourrait aider les professionnels à prendre des décisions concernant l'utilisation de ces interventions pour prévenir les TMS. Les résultats seront diffusés aux auditoires universitaires au moyen de publications évaluées par des pairs, ainsi qu'aux décideurs.

2.2. Revue systématique

Cette revue de littérature a fait l'objet d'un article publié dans une revue internationale à comité de lecture :

Contribution 2 :

Larinier N, Vuillerme N, Balaguier R. Effectiveness of warm-up interventions on work-related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions among workers: a systematic review. BMJ Open 2023;0:e056560.

DOI:10.1136/bmjopen-2021-056560

Résumé :

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) représentent une problématique de plus en plus importante au niveau mondial et des interventions efficaces sont nécessaires pour les prévenir. L'activité physique réalisée sur le lieu de travail est maintenant reconnue comme une composante pertinente de la prévention des TMS. En ce sens, des séances d'échauffement sont maintenant mises en place dans un grand nombre d'entreprises pour prévenir les TMS. Cependant, bien que les avantages de l'échauffement aient déjà été documentés dans le contexte sportif, l'efficacité d'une telle intervention sur le lieu de travail reste à établir.

L'objectif de cette revue systématique était d'identifier, à partir des articles scientifiques publiés dans des journaux corrigés par les pairs, les preuves disponibles concernant les effets d'un échauffement sur les TMS et les fonctions physiques et psychosociales.

Les quatre bases de données électroniques suivantes ont été consultées (depuis le début jusqu'en octobre 2022): Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), PubMed (Medline), Web of Science and Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Des études contrôlées randomisées et non randomisées ont été incluses dans cette revue. Les interventions devaient comprendre une intervention en activité physique à base d'échauffement en situation de travail réel. Les principales variables d'intérêt étaient la douleur, l'inconfort, la fatigue et les fonctions physiques. Cette revue systématique a suivi les lignes directrices de PRISMA et a utilisé la méthode de synthèse des données GRADE. Pour évaluer le risque de biais, nous avons utilisé le ROB2 de Cochrane pour les RCT et le ROBINS-I pour les études non RCT.

Trois études répondaient aux critères d'inclusion, un RCT en grappe et deux non-RCT. Il y avait une hétérogénéité importante dans les études incluses concernant principalement la population et les modalités d'échauffement. Il y avait d'importants risques de biais dans les trois études sélectionnées, notamment des intervenants et des participants qui n'étaient pas en aveugle vis-à-vis de l'intervention et la présence de facteurs confondants. Le niveau de preuve global était très faible.

En raison de la piètre qualité méthodologique des études et des résultats contradictoires, il n'y avait aucune preuve appuyant l'utilisation de l'échauffement pour prévenir les TMS sur le lieu de travail. Les résultats actuels ont mis en évidence le besoin d'études de bonne qualité ciblant les effets d'un échauffement pour prévenir les TMS.

Abstract

Introduction

Work related musculoskeletal disorders (WMSDs) are a growing worldwide burden and effective interventions to prevent them are needed. Physical activity at the workplace is now recognized as a relevant component of WMSDs prevention. In this sense, warm-up interventions are now offered in a large number of companies to manage WMSDs. However, although benefits of warm-up have been previously documented in sports context, the effectiveness of such intervention in workplaces still remains to be established.

Objective

The aim of this systematic review was to identify from published literature the available evidence regarding the effects of warm-up intervention on WMSDs and physical and psychosocial functions.

Method

The following four electronic databases were searched (from inception onwards to October 2022): Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), PubMed (Medline), Web of Science and Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Randomized and non-randomized controlled studies were included in this review. Interventions should include a warm-up physical intervention in real-workplaces. The primary outcomes were pain, discomfort, fatigue and physical functions. This review followed the PRISMA guidelines and used GRADE evidence synthesis. To assess the risk of bias, the Cochrane ROB2 was used for RCT and the ROBINS-I was used for non-RCT studies.

Results

Three studies met the inclusion criteria, one cluster RCT and two non-RCTs. There was an important heterogeneity in the included studies, principally concerning population and warm-up intervention exercises. There were important risks of bias in the three selected studies, due to blinding and confounding factors. Overall, the certainty of evidence was very low.

Conclusion

Due to the poor methodological quality of studies and conflicting results, there was no evidence supporting the use of warm-up to prevent WMSDs in the workplace. The present findings highlighted the need for good quality studies targeting the effects of warm-up intervention to prevent WMSDs.

Introduction

Work related musculoskeletal disorders (WMSDs) are painful diseases of muscles, tendons, nerves, ligaments, joints or spinal discs which can affect all body parts, particularly the neck, the upper limbs or the back(1). All over the world, WMSDs are considered as a major public health problem, with adverse consequences on quality of life and work participation (2–6). Developing and implementing effective prevention strategies or curative interventions is more than necessary. Workplace health promotion interventions are considered to have great potential for improving health and preventing WMSDs, as most people spend a major part of their adult life at work (7–10). The workplace environment seems to be the perfect area to reach and to raise awareness among a large number of workers (11). For these reasons, among all the interventions to prevent WMSDs, those implemented at the workplace and offering physical activity appear to be of particular interest (12–20). In this sense, a recent review of literature by Chen et al (13) assessing the effects of workplace physical activity programs to prevent WMSDs of the neck has reported a plethora of articles among office-workers. At the opposite, numerous authors question the accessibility of such programs for employees at risk of developing WMSDs (i.e. low-status, low income and blue-collar workers (7,21–23)). Finally, regardless of the population and despite positive effects, numerous studies reported a low compliance rate during the implementation of workplace physical activity programs. For instance, 40-60% compliance is commonly observed whatever the duration of the programs (24–30). This last point constitutes a major limitation of such programs and may question their sustainability. It is recognized that this result may stem from barriers such as time constraints, time of the day, duration of the training sessions and supervision (31–35). Therefore, to be sustainable, feasible and consequently increasing this compliance rate, a balance should be found between optimal physiological recommendations and these barriers. In this sense, a promising solution that is easy to fit into organizational routines consisted of dividing the duration of the training sessions, *i.e.* generally one continuous hour(36,37) into short bouts of physical activity, *e.g.* 15/20 minutes repeated several times over a week(8,36,38). Using such a design, Andersen et al (36) among 447 office-workers have demonstrated that performing short bouts of physical activity over a 10 weeks workplace physical activity program (1) reduced pain as much as longer training sessions and (2) increased compliance rate. These authors have reported that adherence among office-workers was significantly higher when the training volume was divided into several weekly training sessions. Indeed, in this study, in both the 3 and the 9 weekly

sessions' groups, adherence was achieved at 60%, while 1 weekly session group only achieved 49%. Daily short bouts of physical activity are a modality reminiscent of warm-up interventions implemented prior to the beginning of the working day and increasingly adopted in the last few years in companies to manage WMSDs (INRS 2018). In these companies, it is common to observe warm-up interventions lasting between 5 and 15 minutes a day as well supervised by professionals such as sport trainer or physiotherapist as trained employees (39). These interventions are developed with the hypothesis that positive effects observed in sports on performance and injury prevention (40–45), could be similar in a work environment. However, scientific data on the effects of warm-up interventions on WMSDs are scarce and, when available, lead to rather conflicting/inconclusive results (46–49). Within this context, the aim of this systematic review was to evaluate the effectiveness of workplace warm-up interventions on WMSDs and physical and psychosocial functions among workers.

Methods

The review protocol concerning the present systematic review was registered within the International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) (registration number: CRD42019137211). The protocol review was published online in BMJ open (doi:10.1136/bmjopen-2020-039063)(50). This review is reported in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) statement.

Criteria for considering studies for this review

Type of studies

Original quantitative research studies that assessed the effect of a warm-up intervention in a workplace setting aiming at preventing WMSDs or musculoskeletal pain or discomfort or fatigue of workers were included in the review. As correctly argued, RCT are considered as the gold standard to assess the effectiveness of an intervention (51). However, its implementation in occupational setting may not always be feasible and its achievement is called into question (52–56). In that specific case, recent studies have suggested that non-RCT may maximize the body of evidence and have suggested including non-RCT in systematic-reviews (57–59). For these reasons and as previously done in recent systematic reviews covering the scope of the present review (12,54) both randomized and non-randomized controlled studies were included. Therefore, quasi-RCTs (participants not randomly allocated), cluster randomized trials (i.e. randomization of a group of people for example randomization at a company level), preference trials (patients can choose their

treatment) and before-and-after study are designs where included. Period of studies publication was defined from inception onwards to October 2022. Finally, to be eligible for inclusion, studies had to be published in English in peer-reviewed scientific journals (54,60). As only studies in English were included and may lead to reporting bias, we have also reported potentially eligible studies in other languages. The following study designs were ineligible: case reports, abstracts, editorials, conference abstracts, letters to the editor, reviews, and meta-analysis. Studies were also excluded if the intervention was partially or totally implemented outside of the workplace, e.g. in a clinical setting and if the intervention was implemented in combination with another intervention, e.g. ergonomics or strengthening. Therefore, studies were excluded when differences can not only be attributed only to the warm-up intervention.

Types of participants

This review only included adult employees (18 years of age or older) and excluded adults with specific comorbidities or diseases (such as diabetes, arthritis, cancer, stroke) and/or special populations (pregnant, severe or rare physical disability, or cognitive disability).

Types of intervention

This review included studies which have implemented warm-up interventions in workplaces. To facilitate the comprehension of a warm-up intervention, we used the definition given by Woods et al (61), i.e. “a warm-up is a short bout of exercise realized before work and aiming to (1) improve muscle dynamic’s to prevent injury and (2) to prepare the worker to realize its task.

Comparator

Inclusion criteria: Studies that compared the warm-up intervention with a no treatment control group (e.g. no intervention or usual activity or another type of workplace physical activity) or a non-active comparator (e.g. leaflets on benefits of physical activity).

Exclusion criteria: Studies with no comparison measures.

Types of outcome measures

Main outcomes

WMSDs are defined as a group of conditions or health problems affecting the locomotor apparatus. These conditions are characterized by pain, impaired function and overall fatigue (1,9). Therefore, among primary outcomes we included all the outcomes associated with

work related musculoskeletal issues, that are (1) participant musculoskeletal pain through the use of pain scales (e.g. numeric rating scale (NRS) or visual analog scale (VAS)) or questionnaire (e.g. McGill pain questionnaire) (62) and (2) participant discomfort or fatigue (12,62) through validated scales and (3) physical function as measured or estimated by questionnaires, performance and/or specific tests. Dichotomous data such as presence/absence of symptoms or injury rate were also considered.

Secondary outcomes

For the prevention of the consequences of WMSDs we included as secondary outcomes, all the outcomes associated with psychosocial function such as the measure of quality of life, job satisfaction, job control or motivation at work. In this review job control was considered as an indicator of psychosocial stress at work (63).

Information sources and search strategy

Four electronic databases - Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), PubMed (Medline), Web of Science and Physiotherapy Evidence Database (PEDro) – were searched systematically from inception onwards to October 2022 to identify studies satisfying the search criteria. Note that these databases have previously used in published reviews covering the scope of this review (54,62,64,65). The proposed search strategy terms for the four databases are listed in Table 1.

Medline		Pedro		Web of Science		Cochrane	
1	Workplace[Mesh]	1	Work* ti,ab	1	Workplace ti,ab	1	Work* ti,ab
2	Work* ti,ab	2	Warm* ti,ab	2	Work ti,ab	2	Employ* ti,ab
3	Employ* ti,ab	3	Pain* ti,ab	3	Employee ti,ab	3	Compan* ti,ab
4	Compan* ti,ab	4	1 AND 2 AND 3	4	Company ti,ab	4	1 OR 2 OR 3 OR 4
5	1 OR 2 OR 3 OR 4	5	Work* ti,ab	5	1 OR 2 OR 3 OR 4	5	Warm* ti,ab
6	Warm-Up Exercise[Mesh]	6	Employ* ti,ab	6	Warmup	6	Pre-exercise ti,ab
7	Pre-shift ti,ab	7	Compan* ti,ab	7	Warm-up	7	Pre-activit* ti,ab
8	Pre-exercise* ti,ab	8	5 OR 6 OR 7	8	Warm up	8	6 OR 7 OR 8
9	Pre-activit* ti,ab	9	Warm* ti,ab	9	Warming-up	9	Musculoskeletal ti,ab
10	6 OR 7 OR 8 OR 9	10	Pre-exercise* ti,ab	11	Pre-exercise ti,ab	10	Disease ti,ab
11	Musculoskeletal diseases[Mesh]	11	Pre-activit* ti,ab	12	Pre-activity ti,ab	11	WMSD* ti,ab
12	Pain[Mesh]	12	9 OR 10 OR 11	13	6 OR 7 OR 8 OR 9 OR 10 OR 11 OR 12	12	Pain ti,ab
13	Musculoskeletal Pain[Mesh]	13	Musculoskeletal ti,ab	14	Musculoskeletal ti,ab	13	(endurance or strength or flexibility) ti,ab
14	WMSD* ti,ab	14	Disease ti,ab	15	Disease ti,ab	14	(quality of life or job satisfaction or work ability or well-being or stress or disabilit* or health or discomfort or comfort or fatigue or injur*) ti,ab
15	Pain ti,ab	15	WMSD* ti,ab	16	WMSD* ti,ab		Combining search terms
16	(endurance or strength or flexibility) ti,ab	16	Pain ti,ab	17	Pain ti,ab	15	5 AND 13 AND 20
17	(quality of life or job satisfaction or work ability or well-being or stress or disabilit* or health or discomfort or comfort or fatigue or injur*) ti,ab	17	13 OR 14 OR 15 OR 16	18	(endurance or strength or flexibility) ti,ab		
18	11 OR 12 OR 13 OR 14 OR 15 OR 16 OR 17			19	(quality of life or job satisfaction or work ability or well-being or stress or disabilit* or health or discomfort or comfort or fatigue or injur*) ti,ab		
	Combining search terms			20	14 OR 15 OR 16 OR 17 OR 18 OR 19		
19	5 AND 10 AND 18				Combining search terms		
				21	5 AND 13 AND 20		

Table 1. Databases search strategy terms (ti: tittle ; ab: abstract)

Additional intended information sources

To be sure not to miss relevant studies for this review, the reference list of for all eligible articles was checked. Then, a grey literature search was performed on ClinicalTrials.gov. Finally, we contacted experts in this domain to collect information on unknown or ongoing studies.

Data collection

Study selection process

All studies that met inclusion criteria passed through a data extraction and quality assessment process performed by two independent reviewers (NL and RB). A third reviewer (NV) was requested to resolve disagreement when consensus was not reached. At stage 1, NL and RB screened abstracts and titles identified from the search strategy. At stage 2, the same two reviewers screened the full-text articles for inclusion. At this stage, all reasons for exclusion of articles were recorded and reported (see Appendix 1). Finally, the relevant studies, which respected eligibility criteria, were screened by the third reviewer (NV) to be included in the systematic review.

Data extraction and management

First a data extraction form was created and validated by the three team members. This data collection form was fulfilled by one team member (NL) and corrected by another team member (RB). Any disagreement between the two reviewers was resolved by consensus or discussion with the third review team member (NV). This extraction form could be modified from the information collected in the eligible studies but should at least specify the following information (62,64,66):

- General: authors, year of publication, journal's name, source of funding (if any) and country of the study;
- Methods: study design, total duration of study, follow-up when data were collected, study setting and withdrawals;
- Participants: number, age, gender, inclusion/exclusion criteria, type of workplace or job task, health of the workers/health status, i.e. asymptomatic or symptomatic, year of work experience;
- Interventions: description of the type, duration, frequency, intensity, supervision of the warm-up program, description/content of the comparison/control group and number of participants allocated to each group;

- Data collection: primary and secondary outcomes, measurement tools, questionnaires, tests;
- Statistical tests;
- Main results.

Risk of bias assessment

Two team members (NL and RB) independently assessed the risk of bias for each included study. Any disagreement between team members was solved by consensus or discussion with the third team member (NV). As both randomized and non-randomized controlled studies were included in this review, two “risk of bias” tools were used, the Cochrane ROB2 and the ROBINS-I.

For RCT

The Cochrane tool for assessing risk of bias from the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions was used to assess potential biases of the included RCT studies. This tool is a well-known and validated instrument to assess the risk of bias in RCTs (67). This tool has been revised in 2019 by Sterne and colleagues (68) and has now 5 domains to assess bias arising from: (1) randomization process, (2) deviation from the intended intervention, (3) missing outcome data, (4) measurement of the outcome, and (5) selection of the reported result. Each domain was scored as follows (see Table 2): “high risk of bias”, “low risk of bias” and “some concerns” (68).

Overall risk-of-bias judgment	Criteria
Low risk of bias	The study is judged to be at low risk of bias for all domains for this result
Some concerns	The study is judged to raise some concerns in at least one domain for this result, but not to be at high risk of bias for any domain
High risk of bias	The study is judged to be at high risk of bias in at least one domain for this result, or the study is judged to have some concerns for multiple domains in a way that substantially lowers confidence in the result

Table 2. Risk of bias judgement for a specific domain in RCT (from Sterne et al. 2019).

For non RCT

The Risk Of Bias In Non-randomized Studies - of Interventions (ROBINS-I) was used to assess potential biases of the included non-RCT (69). This tool has 7 domains to assess bias

arising from (1) confounding, (2) selection of participants, (3) classification of the intervention, (4) deviations from the intended intervention, (5) missing data, (6) measurement of outcomes and (7) selection of the reported result. Each domain was scored as follows (see Table 3): “low risk of bias”, “moderate risk of bias”, “serious risk of bias” and “critical risk of bias” (69).

Judgement	Within each domain	Across domains	Criterion
Low risk of bias	The study is comparable to a well performed randomised trial with regard to this domain	The study is comparable to a well performed randomised trial	The study is judged to be at low risk of bias for all domains
Moderate risk of bias	The study is sound for a non-randomised study with regard to this domain but cannot be considered comparable to a well performed randomised trial	The study provides sound evidence for a nonrandomised study but cannot be considered comparable to a well performed randomised trial	The study is judged to be at low or moderate risk of bias for all domains
Serious risk of bias	The study has some important problems in this domain	The study has some important problems	The study is judged to be at serious risk of bias in at least one domain, but not at critical risk of bias in any domain
Critical risk of bias	The study is too problematic in this domain to provide any useful evidence on the effects of intervention	The study is too problematic to provide any useful evidence and should not be included in any synthesis	The study is judged to be at critical risk of bias in at least one domain
No information	No information on which to base a judgement about risk of bias for this domain	No information on which to base a judgement about risk of bias	There is no clear indication that the study is at serious or critical risk of bias <i>and</i> there is a lack of information in one or more key domains of bias (<i>a judgement is required for this</i>)

Table 3. Risk of bias judgement for a specific domain in non-RCT (from Sterne et al. 2016).

Measures of treatment effect

For studies using continuous data, treatment effect was reported as mean difference with 95% CI. In case the studies evaluated the same outcome with different scales, standardized mean difference (SMD) with 95% CI was calculated. Regarding dichotomous/categorical variables, the treatment effect was calculated using the relative risk (RR) with 95% CI (70–73).

Since the number of included studies is greater than 5(71) and when these studies are considered as sufficiently homogeneous, outcome data could be synthesized using a random effect meta-analysis (62,72,74,75). If meta-analysis is not possible due to heterogeneity or if we are unable to pool the outcomes, a narrative synthesis could be performed using text and table formats.

Assessment of statistical heterogeneity

Statistical heterogeneity, defined as variability in the intervention effects was estimated using the Chi² test, with Chi² $p > 0.10$ provides significant evidence of heterogeneity. Chi² assesses whether heterogeneity is only due to chance. To ensure a right comprehension of heterogeneity, Chi² was completed with *I*² statistics particularly relevant when studies have small sample size or are few in numbers. Heterogeneity was categorized as follows (75):

- 0-40% : not be important
- 30-60% : moderate heterogeneity
- 50-90% substantial heterogeneity
- 75-100% : considerable heterogeneity

Quality assessment and strategy for data synthesis

To assess quality of evidence of the included studies, we used the Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation (GRADE) approach (76). This approach grades studies as followed: very low, low, moderate and high evidence. High-quality evidence means further research is very unlikely to change confidence in the estimate of effect; moderate-quality evidence means further research is likely to have an important impact on confidence in the estimate of effect and may change the estimate; low-quality evidence means further research is very likely to have an important impact on confidence in estimate of effect and is likely to change the estimate; and very low-quality evidence means very little confidence in the effect estimate. As suggested by Bordado et al (60), the quality assessment was based on the findings in data extraction, and followed the domains of quality

evaluation in the GRADE approach: risk of bias, inconsistency, indirectness and imprecision. Two team members (NL and RB) independently assessed the quality of evidence of the included studies with the GRADE approach. A third reviewer (NV) was requested to resolve disagreement when consensus was not reached.

Results

Description of studies

The electronic searches identified a total of 2156 references (Figure 1), collected from several databases: 1007 studies in Cochrane, 763 studies in Web of Science, 321 studies in Medline PubMed and 65 studies in PEDRO. The total of 2156 references was reduced to 1518 after removing 638 duplicates. The titles, keywords and abstracts of the 1518 potentially relevant references were independently screened by two review authors (NL, RB). Finally, 10 references were selected for full text analysis. After a manual searching through selected systematic reviews and included studies, an additional reference was found to extend the selection to 11 potential included studies. Two review authors (NL, RB) independently read and analyzed the full texts, and finally included 3 studies in this review.

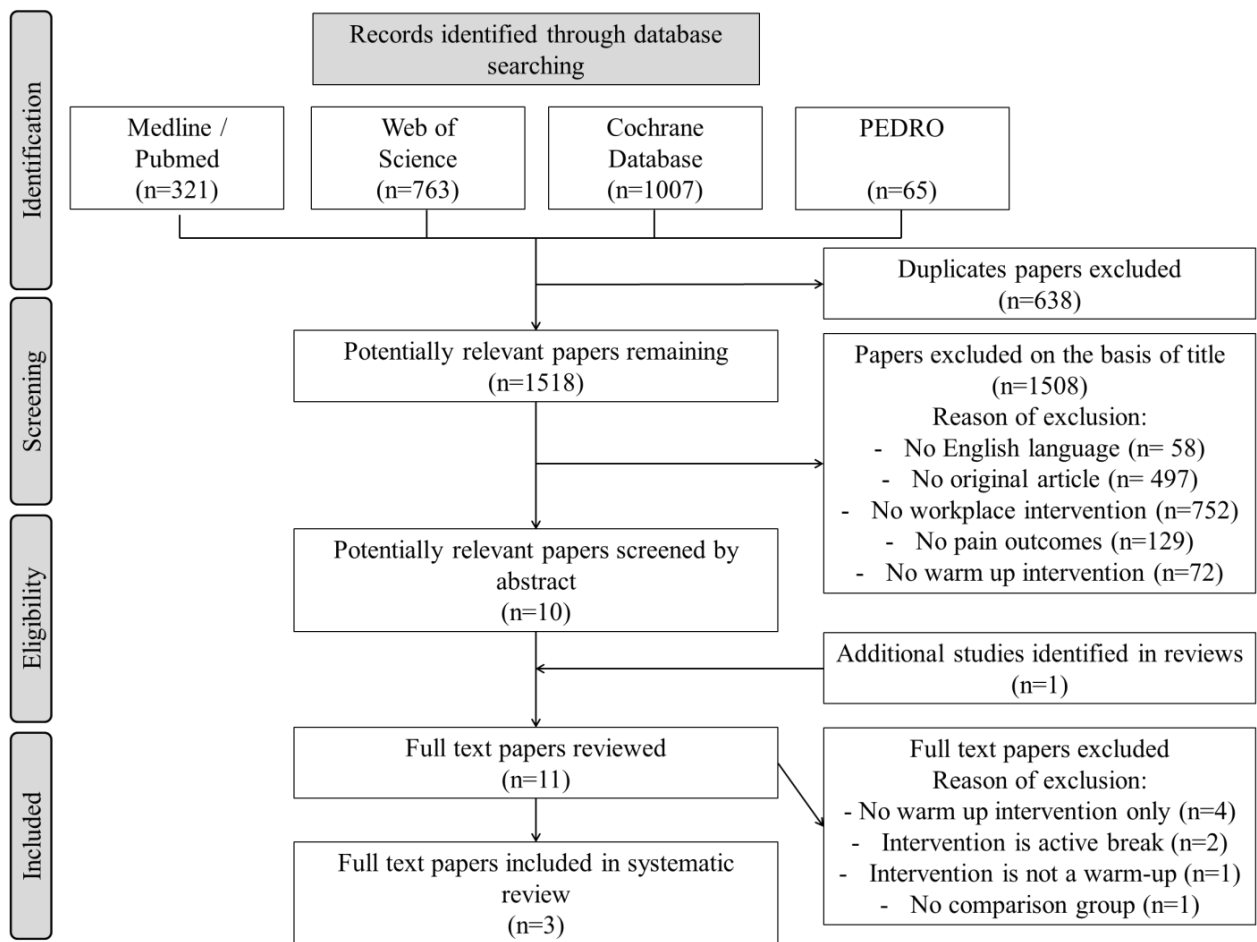


Figure 1. PRISMA flowchart of study selection process

Included studies

The summary of findings is presented in Table 4, Table 5 and Table 6.

Study design

One of the included studies was a cluster RCT (48), while the 2 remaining studies were non-RCTs (47,49).

Participants and location

The included studies involved a total of 1230 participants, 1053 males (85.6%) and 177 females (14.4%). A vast majority of participants (n=1104, 89.8%) were US young military recruits (48), while the remaining participants (n=126, 10.2%) were construction or manual workers (47,49). Gartley and Prosser (47) analysed 79 manual workers, 78 males (98.7%) and 1 female (1.3%) in the north-eastern of the USA while Holmström and Ahlborg (49) assessed the effects of a workplace warm-up intervention among 47 males (100%) construction workers in Sweden.

Interventions

In the study of Gartley and Prosser (47) warm up was a passive stretching intervention targeting the whole body (47). This warm-up program was designed with a chiropractor specialized in stretching protocols. It consisted of nine stretching exercises targeting the neck, shoulders, upper and lower back, quadriceps, hamstrings, arms and ankles. Participants were instructed to hold each stretch during 10 to 15 seconds, in a standing position, without any material (47). In the 2 other studies, DiStefano et al (48) and Holmström and Ahlborg (49), warm-up intervention consisted in combination of exercises based on dynamic movements. DiStefano et al (48) compared two different warm-up interventions among young military recruits. The warm-up in the intervention group consisted of dynamic flexibility, strengthening, agility and plyometric exercises. This intervention places an increased emphasis on balance exercises to prevent lower extremity injury. Participants in the group considered as the control group performed 10 standard exercises commonly used in the US Army before physical fitness training. For Holmström and Ahlborg (49), participants were invited to perform exercises during 10 minutes using working clothes. In this study, exercises were designed by a physiotherapist to increase heart rate frequency, to limber up and to stretch and were focused on the arms, shoulders, trunk and legs. This warm-up modality (49) was a combination of dynamic and stretching exercises.

Outcomes

Pain outcomes

Holmström and Ahlborg (49) evaluated pain, experienced workload, leisure time activity and dysfunction with a questionnaire included in the Back Pain Monitor package system. Pain was rated on four category scales with a sum index from 0 to 36.

Injury rate was reported by Gartley and Prosser (47) one year prior the program and during or immediately after the program. DiStefano et al (48) assessed lower extremity injury rate with the Cadet Illness and Injury Tracking System (CIITS), an injury-surveillance database used in the military academy. Injury data were collected between the post-test session and the end of follow-up, at 8 months.

Physical outcomes

Physical related outcomes were not evaluated by Gartley and Prosser (47). DiStefano et al (48) assessed a technical task with the Landing Error Scoring System (LESS) and the peak Vertical Ground-Reaction Force (VGRF). The LESS is a clinical movement assessment tool

that has been validated in the military academy population (77) which can predict subsequent injury risks (78).

Holmström and Ahlborg (49) reported mobility of the spine and extremities, muscle stretchability, muscle strength and muscle endurance of the trunk and extremities. A liquid goniometer (MIE Medical Research Ltd.) was used to measure hamstring muscles flexibility, the mobility of the spine and shoulder joints (79). The dynamic performance of the upper limbs was measured as maximum arm elevations with 10 kg in each hand (80). The dynamic performance of the lower limbs was measured as the maximum number of rising up from half-kneeling position to standing up position (81). The static performance of the trunk extensors was measured lying in prone position with 240s as the predetermined limit of termination (82,83).

Psychosocial outcomes

None of the included studies assessed psychosocial outcomes.

Follow up period

The follow-up periods observed in the 4 included studies ranged from no follow-up (47,49) to 8 months (48).

Excluded studies

During the full-text assessment, eight studies were excluded (39,46,84–89). Four studies were excluded because the warm-up intervention was part of a bigger program and could not be assessed separately (39,84–86). Two studies were also excluded because physical exercises were performed during the working day or lunch break and therefore do not correspond to the definition of warm-up intervention (87,89). Another study was excluded because the intervention was not considered as warm-up (88). Finally, one study was a retrospective study without a control group. This study (46) analyzed 146 food factory workers in Minnesota (USA), 98 males (67%) and 48 females (33%). Aje et al (46), consulted a certified stretching specialist to develop their intervention. This intervention consisted of 10 stretching exercises targeting the same body parts as Gartley and Prosser (47).

Study	Design	Location	Industry/sector	Funding	Study duration	Participants	Average Age	Gender	Health status	Comparison
DiStefano, 2016	Cluster RCT	USA	Military academy	Financial support was received from the National Athletic Trainers' Association Research and Education Foundation and the Congressionally Directed Medical Research Program's Peer Reviewed Medical Research Program Award (#W81XWH-11-2-0176).	9 months	1104	Range in age : 17-22 years	928 males (84%) 176 females (16%)	Injury-free	IG1: DIME Group n = 4 companies of approximately 135 participants each IG2: SWU Group n = 4 companies of approximately 135 participants each
Gartley, 2011	Non-RCT	USA	Tin Mill Warehouse Drivers	Partial support from Eta Chapter. Sigma Theta Tau International (May 2009).	12 months	79	Tin Mill : 57.3 years Warehouse : 44.5 years Drivers : 49.3 years Total : 50.4 years	78 males (98.7%) 1 female (1.3%)	Injury-free	IG: Program participants (Tin Mill + Warehouse + Drivers) n = 79 CG: Eligible population n = 1248
Holmström, 2005	Non-RCT	Sweden	Construction sites	Supported by the Swedish Council for Building Research and the Research Foundation for Working Environment in the Construction Industry.	3 months	47	MWU Group : 39.7 (11.8) years Control Group : 39.8 (15.4) years	47 males (100%)	Injury-free	IG: MWU Group n = 30 CG: Control Group n = 17

Table 4. Summary of Findings 1/3

IG: Intervention group; CG: Control group; DIME: Dynamic Integrated Movement Enhancement; SWU: Standard Warm Up; MWU: Morning Warming-up

Study	Characteristics	Supervision	Nature of supervisors	Training Period	Frequency	Duration	Length of follow up	Dropout rate	Participation rate	Adherence
DiStefano et al, 2016	1. Dynamic exercises 2. Strengthening 3. Agility	2 companies of the IG1 were supervised by cadre and the 2 others by expert	Physical education instructors	6 weeks	2 or 3 times per week	10 min	8 months	0	1104 / 1193 (93%)	Unclear About 77%
Gartley et al, 2011	Stretching	Warehouse: Supervised by a stretching specialist during the first week and by work supervisors during the rest of the program Tin Mill: Without supervision Drivers: Without supervision	Chiropractor Work supervisors	3 months	Daily	6 min	No follow up	16 /95 (17%) 1 WMSD	79 / 1248 (6.33%)	100%
Holmström et Ahlberg, 2005	1. Dynamic exercises 2. Stretching	By a trained worker	Program composed by physiotherapists but conducted by a trained worker	3 months	Every morning	10 min	No follow up	10/57 (17.5%) IG = 7 excluded or dropped out CG = 3 dropouts	N/A	Unclear About 80%

Table 5. Summary of Findings 2/3

Study	Pain outcomes	Effect on pain	Physical capacities outcomes	Effects on physical capacities	Psychosocial factors outcomes	Effect on psychosocial factors
DiStefano et al, 2016	Lower extremity injury with the CIITS	No significant differences <ol style="list-style-type: none"> POST2M DIME group 5.22 SWU group 5.97 RR(95% CI): 0.97 (0.50-1.90) POST4M DIME group: 2.17 SWU group: 2.87 RR(95% CI): 0.84 (0.30-2.36) POST6M DIME group: 3.48 SWU group: 5.73 RR(95% CI): 0.67 (0.31-1.48) 	Peak VGRF	Greater decrease in peak VGRF (% of body weight) in the DIME group compared with the SWU group <ol style="list-style-type: none"> POST2M vs PRE: SWU Group: -0.13 ± 0.82 (-0.29 to 0.03) DIME Group: -0.62 ± 0.91 (-0.87 to -0.37) (p<0.05) POST4M vs PRE: SWU Group: -0.15 ± 0.98 (-0.32 to 0.02) DIME Group: -0.46 ± 0.64 (-0.71 to -0.21) (p<0.05) POST6M vs PRE: SWU Group: -0.04 ± 0.96 (-0.25 to 0.17) DIME Group: -0.53 ± 0.83 (-0.79 to -0.27) (p<0.05) 	Not evaluated	N/A
Gartley et al, 2011	Injury rate	Significant difference between CG at T1 and IG at T2; and CG at T2 and IG at T2 <ol style="list-style-type: none"> CG (T1): 6.5% (51 of 785) RR: 5.13 IG (T2): 1.3% (1 of 79) RR: 0.14 CG (T2): 8.5% (106 of 1,248) RR: 6.70 	Not evaluated	N/A	Not evaluated	N/A
Holmström et Ahlborg, 2005	A questionnaire included in the Back Pain Monitor package system, concerning experienced workload, leisure time activity, pain and dysfunction	No significant differences for pain <ol style="list-style-type: none"> IG before: 3.0 (16.0) IG after: 2.0 (17.0) CG before: 0.0 (19.0) CG after: 1.0 (17.0) 	<ol style="list-style-type: none"> Mobility of the spine and extremities Muscle stretchability Muscle strength Endurance of the trunk and extremities 	<ol style="list-style-type: none"> Significant positive effect (p<0.05) on Thoracic flexion in IG (86 to 90 deg) and Trunk flexion in IG (63 to 66 deg) IG vs CG : Significant differences after (p<0.001) Significant positive effect (p<0.001) on hamstring stretchability in IG (54 to 66 dx deg) IG vs CG : Significant differences after (p<0.001) <p>Significant positive effects on thigh stretchability (p<0.01) in IG (-10 to -17 dx deg)</p>	Not evaluated	N/A

- IG vs CG : Significant differences after (p<0.01)
3. Significant positive effect (p<0.05) on left side leg muscle in IG (38 to 40 sin(no)) but no significant differences between groups
 4. No significant effect on back muscle isometric endurance in IG (153 to 153s) but significant decrease (p<0.01) in CG (171 to 140s)
IG vs CG : Significant difference after (p<0.01)

Table 6. Summary of Findings 3/3

CIITS: Cadet Illness and Injury Tracking System; VGRF: Vertical Ground-Reaction Force; POST2M: 2 months after intervention; POST4M: 4 months after intervention; POST6M: 6 months after intervention; PRE: immediately before intervention; RR: Relative Risk

Quality assessment including risk of bias

Risk of bias for RCT

The Cluster RCT of DiStefano et al (48) had some concerns overall risk of bias. Table 7 shows the 'Risk of bias' summary for each 'Risk of bias' items for the included RCT study. DiStefano et al (48) assessed the effects of warm-up modalities among US young recruits. In this study, both participants and implementers were not blinded to group allocation. This point led to have some concerns regarding the risk of bias due to deviations from the intended intervention. A low risk of bias was reported for the other items, i.e. bias arising from the randomization process, bias due to missing data, bias in measurement of the outcome and bias in selection of the reported results. Therefore, according to the risk of bias judgment for a specific domain in RCT (from Sterne et al (69)), the DiStefano et al (48) study had some concerns overall risk of bias.

Risk of bias for non-RCT

The two non-RCTs (47,49) were considered at serious risk of bias. Table 8 shows the 'Risk of bias' summary for each 'Risk of bias' items for the two included non-RCTs studies. All non-RCTs studies included in this review present serious risk of bias regarding confounding and measurement of outcomes. For instance, the participants of these studies volunteered to participate were all injury-free at the beginning of the studies. Regarding bias in measurements of outcomes, examiners in the study of Holmström and Ahlborg (49) were not blinded to group assignment. In the study of Gartley and Prosser (47), investigators were employed by the companies in which the study took place. In the same study, there were also differences in the implementation of the intervention between participants in the same group. For instance, a subgroup of participants, i.e. truck drivers performed warm-up before beginning of their route whereas the others start their route and then warmed-up at their first delivery stop.

Included Studies	Outcome variable	Bias arising from the randomization process	Bias due to deviations from intended interventions	Bias due to missing data	Bias in measurement the outcome	Bias in selection of the reported result	Overall bias
DiStefano et al 2016	Injury rate	Low	Some concerns	Low	Low	Low	Serious

Table 7. Summary of review authors' judgments about each risk of bias for RCT study

Included Studies	Outcome variable	Bias due to confounding	Bias in selection of participants into the study	Bias in classification of interventions	Bias due to deviations from intended interventions	Bias due to missing data	Bias in measurement of outcomes	Bias in selection of the reported result	Overall bias
Gartley et al 2011	Injury rate	Serious	Low	Low	Low	Moderate	Serious	Low	Serious
Holmström et Ahlberg 2005	Pain	Serious	Low	Moderate	Low	Low	Serious	Low	Serious

Table 8. Summary of review authors' judgments about each risk-of-bias item for the three non-RCTs studies

Assessment of indirectness

The two non-RCTs studies (47,49) met the inclusion criteria regarding participants, warm up interventions and pain or related outcomes. In this sense, we can consider that evidence regarding participants, intervention and outcomes is direct. However, the results show important differences between studies regarding population, (i.e. gender differences) and work characteristics. For example, females represented 16 % of the sample in the DiStefano et al (48) study vs 0 or 1% in the Holmström and Ahlborg (49) and the Gartley and Prosser (47) studies. Furthermore, warm-up interventions were not similar although there were warm-ups. Gartley and Prosser (47) implemented a warm-up based on stretching exercises while Holmström and Ahlborg (49) set up a more various warm up, with heart-rate increasing and limbering-up activities. Concerning outcomes, and specifically pain outcomes, only Holmström and Ahlborg (49) assessed pain with subjective scale (VAS) while Gartley and Prosser (47) limited themselves to the injury rate. However, the injury rate is not the predefined outcome of interest to assess participants' pain and was hence considered as a surrogate outcome for pain measurement. For all these reasons, we decided to rate down the overall quality of evidence due to indirectness by 1 point.

The RCT study of DiStefano et al (48) also met the inclusion criteria but the observed population was very specific as participants were young soldiers. In this sense, it seemed complicated to generalize such results to the global workforce. For this reason, we decided to rate down the overall quality of evidence due to indirectness by 1 point.

Assessment of inconsistency

Considering the included studies (47–49), we decided not to combine results because the range of patients, the type of warm-up interventions, and the outcomes considered were too different to perform a global analysis. DiStefano and colleagues (48) did not observe any significant differences in the 1-year lower extremity injury rates between the 2 intervention groups ($P = 0.44$; $RR = 0.88$; 95% CI, 0.62-1.23). The RR was close to 1 and indicated a small effect. The direction and/or magnitude of effect on injury rate were inconsistent across the included studies as Gartley et al (47) indicated a significant difference in favor of the warm-up intervention. We judged the evidence to have serious inconsistency.

Assessment of imprecision

A posterior calculation of the sample size indicates that 385 measurements were needed to have a confidence level of 95%. There were 1104 participants involved in the DiStefano et al

study (48). DiStefano et al (48) did not observe any significant differences regarding the 1-year lower extremity injury rates between the 2 intervention groups ($P = 0.44$; $RR = 0.88$; 95% CI, 0.62-1.23). The RR was close to 1 and the 95% CI included RR of 1.

The cumulative sample size of Holmström and Ahlborg and Gartley and Prosser (47,49) was 126 participants. As the optimal information size criterion was not met we decided to rate down for imprecision. In the study of Gartley et al (47), concerning the injury rate, the RR was 0.14 for the intervention group and 6.70 for the control group. Authors indicated that the odds of experiencing a work-related musculoskeletal injury were 7.69 times higher for control group than for intervention group.

Assessment of publication bias

Tests for funnel plot asymmetry should be used only when 10 studies are included in the meta-analysis. Fewer studies lead to decrease the power of the therefore limit the possibility to distinguish chance from real asymmetry (90). As a result, we were unable to process the funnel plots asymmetry test.

Assessing certainty in evidence

Table 9 shows certainty of evidence of included studies. There were serious concerns with indirectness for the study of DiStefano et al as the population was very specific. Moderate evidence was found for this study for dynamic warm-up intervention decrease lower extremity injury rate. There were serious or very serious concerns with four GRADE domains (ROB, inconsistency, indirectness and imprecision associated with the findings) across the non-RCT that measured injury rate (tables 4 and 5). The certainty of evidence found was very low for the effects of a warm-up intervention on injury rate.

Effects of workplace warm-up interventions

Effect on pain

In the Holmström and Ahlborg study (49), there was no significant difference concerning pain between the intervention group and control group neither before nor after the 3-months period. In the intervention group, the median (range) score for pain was 3.0 (16.0) before the intervention and 2.0 (17.0) after the intervention.

Effect on injury rate

In Gartley and Prosser (47) for the 3-months period 1 year prior to the program (T1), 51 injuries were recorded among 785 employees representing an injury rate of 6.5%. The injury

rate varied slightly according to working activity. For instance, tin mill workers had an injury rate of 6.5% (42 of 648) and beverage workers had an injury rate of 5.8% (9 of 156). At T2, during the intervention period, the amount of eligible employees was 1,248 and 106 injuries occurred, for an injury rate of 8.5%. At T2 again, 78 participants had completed the study; 24 tin mill participants and 53 beverage company participants completed the protocol without any injury, while one beverage company participant experienced one injury. The injury rate in the intervention group was 1.3% (1 out of 79).

In the DiStefano et al (48) trial, 129 / 1104 participants had experienced a lower extremity injury during the follow-up period; i.e. 8 months. Over the 129 participants injured, 90 of them were in the control group (incidence proportion, 19.4%) and 39 of them were in the intervention group (incidence proportion, 17.0%). No significant differences in the 1-year lower extremity injury rates was observed between the 2 groups ($p = 0.44$; RR = 0.88; 95% CI, 0.62-1.23).

Effect on physical outcomes

In the Holmström and Ahlberg study (49), significant increases over the warm-up intervention was observed in the intervention group for the trunk flexion and the stretchability of hamstring muscles. No increase was observed in this group for back muscle isometric endurance. No significant change was reported for the control group regarding trunk flexion, stretchability of hamstring muscles. The back muscle isometric endurance time decreased significantly in the control group. The difference between the groups after the 3-month period was significant. No other tests of muscular strength and endurance demonstrated any significant changes in neither IG nor CG. DiStefano and colleagues reported a greater decrease in peak VGRF in the intervention group compared with the control group at all assessment time points.

Certainty assessment							No of patients		
No of studies	Study design	Risk of bias	Inconsistency	Indirectness	Imprecision	Other considerations	Warm-up intervention	Control group	Certainty
Lower extremity injury rate									
1	RCT	Not serious	Not serious	Serious (-1)	Not serious	None	192	222	⊕⊕⊕⊖
Injury rate									
1	Non-RCT	Very serious (-2)	Serious (-1)	Serious (-1)	Serious (-1)	None	79	1248	⊕⊖⊖⊖
Pain									
1	Non-RCT	Very serious (-2)	Serious (-1)	Serious (-1)	Serious (-1)	None	30	17	⊕⊖⊖⊖

Table 9. GRADE quality of evidence score

Discussion

This systematic review aimed to identify from published literature the available evidence regarding the effects of workplace warm-up on WMSDs and physical and psychosocial functions. Positive effects of workplace warm-up interventions were reported on pain outcomes such as injury rate (47,48) and physical capacities (48,49). The present review also revealed that no study has assessed the effects of such intervention on psychosocial function. While results of the four included studies are encouraging and highlight the need for further studies, three main findings can be summarized as follows: (1) the number of included studies is low, (2) none of these studies are graded as high quality and (3) there is consequently no quality evidence for the effectiveness of workplace warm-up interventions on WMSDs, physical and psychosocial functions.

Methodological considerations

First, the three included studies present alternative designs to the “classic” RCT. DiStefano et al (48), used a cluster-RCT design while the three remaining studies used a non-RCT design. Including such designs in this review was a choice shared by others (91,92) in order not to be too restrictive to figure out the effects of warm-up interventions in workplaces where classic RCT are rare and difficult to set up (1,22,36,51–56,93,94). Therefore, cluster RCT is an excellent alternative design as all employees working in a same department or team are recruited in a same group (36). One of the main issues of cluster RCT is the risk of baseline difference between clusters. In the study of Di Stefano et al (48), no difference was observed at baseline between groups regarding the characteristics of the participants (17-22 years) and physical related outcomes such as scores in VGRF. The two remaining non-RCTs studies (47,49) present important methodological issues. Indeed, all of them have serious risk of bias due to confounding and outcome measurements. This risk mainly stems from the absence of blinding for examiners and should be taken into consideration especially for the assessment of physical outcomes. For instance, Holmström and Ahlborg(49) have reported positive effects of workplace warm-up intervention on muscle endurance and strength. However, the performance during these two tests depends to a large extent on the motivation of the participants and also on the enthusiasm or lack of enthusiasm of the examiners. Therefore the positive effects reported in this study may be questioned. Consequently, to increase internal validity of further non-RCT, an effort should be made to ensure assessor examiners’ blinding.

Study characteristics

Population

The three studies included in this review present heterogeneity in terms of the population studied. First, this review included 1230 participants. Most of them (n=1104, 89.8%) are US young recruits while the remaining participants (n=126, 10.2%) are construction or manual workers from USA or Sweden. Construction workers such as manual workers are highly exposed to physical WMSDs risk factors such as vibrations, working in low-temperature, lifting or carrying heavy loads. Therefore, for construction workers the prevalence of WMSDs is frequently above 25% (95,96). These figures highlight the importance of WMSDs prevention among these populations and make relevant further investigations about the effects of workplace warm-up interventions. However, as mentioned earlier, almost 90% of the participants in this review are US young recruits. Differences between military and construction or industrial workers in workplace settings and social norms limit the generalizability of the positive effects reported by Di Stefano et al (48) and strengthen the importance of increasing the number of participants. Then, further studies assessing the effects of workplace warm-up interventions should also focus on other occupational sectors affected by WMSDs such as agriculture or healthcare in which the prevalence of such conditions may reach 65% (97). To go further, the heterogeneity in terms of population also concerns gender difference within studies. Interestingly, over the 1230 participants, 1053 are men (85.64%) while the remaining 177 participants (14.36%) are women. Even if this proportion is in line with the one reported in epidemiological studies (96), the recent review of Umer et al(96) assessing the prevalence of WMSDs respectively among construction workers and industrial workers highlighted higher WMSDs prevalence among females as compared to their male counterparts(96). Therefore, future studies are needed to examine whether gender difference can further enhance workplace warm-up interventions effects. This is of particular interest since a recent review of Prieske et al (30) assessing the effects of workplace physical activity programs on physical fitness have reported no difference in training-induced gains between genders. Another important dimension that should be emphasized is that participants recruited in the four included studies have no musculoskeletal symptoms at baseline. Indeed, it appears that the effect of workplace physical activity to prevent musculoskeletal pain for a painful population may be substantial, but the perceptible benefits for generally healthy workers can be quite small (15). As suggested by Chen et al (13) future studies should use a combination of pain intensity and incidence outcomes. These future studies should perform subgroup analyses of symptomatic, asymptomatic and possibly

“at risk” groups to a better understanding of the effect of a workplace physical activity intervention on WMSDs (13).

Intervention

Warm-up interventions could be subdivided into stretching (47), dynamic (48) and hybrid warm-up intervention (49). The stretching warm-up implemented in the studies of Gartley and Prosser (47) was exclusively constituted of stretching exercises focused on the whole body. The dynamic warm-up in DiStefano et al (48) was constituted of dynamic exercises that engage numerous muscles. This aim of this intervention was to increase heart rate frequency and places an increased emphasis on balance exercises. Lastly, the hybrid warm-up in Holmström and Ahlborg (49) was a combination of dynamic and stretching exercises. In the present review, duration of the workplace warm-up interventions is ranged from 6 to 12 weeks. This program duration is similar to other workplace physical activity programs implementing to prevent WMSDs (13,30) and is appropriate to observe effects on WMSDs related outcomes(36,92). In the three included studies (47–49) of this review the adherence rate is ranged from 77% to 100%, i.e. a full adherence rate. The high adherence rate observed is not surprising since short bouts of exercises were previously identified as a determinant of adherence during workplace physical activity programs (36,38,93). These high adherence rates also suggest that warm-up have the potential to be easily integrated into the working hours and finally attest of the feasibility of workplace warm-up interventions. This result can also be considered as an argument to convince employers implementing such interventions. However, the duration of the workplace warm-up interventions of the four included studies question its sustainability. As recently suggested by numerous reviews reporting the effectiveness of workplace physical activity interventions; follow-up periods exceeding 12 weeks are needed to ensure (1) the sustainability of an intervention and (2) possible delayed intervention effects(12,92,98–100).

Finally, one important point to discuss concerns the supervision of the workplace warm-up intervention. In two of the three included studies, warm-up sessions were supervised over the entire duration of the intervention by a trained worker, i.e. a colleague or a direct supervisor. In this review, warm-up supervision can partly explain the high adherence rates mentioned earlier (31,38,93). To go further, Prieske et al(30) reported that physical gains can be induced with lower levels of supervision (50% of supervised sessions) in young workers. However, supervision may be even more important with older workers to enhance motivation. These results suggest that supervision may have played an important role in maintaining participants

in a training intervention, so the value of supervision should not be underestimated (30,38,100).

Outcomes

As expected, the three included studies present heterogeneity regarding the outcomes used. This is particularly true regarding pain related outcomes. DiStefano et al(48) used a specific military tool, i.e. the CIITS while Gartley and Prosser(47) assessed the injury rate. Finally, Holmström and Ahlborg (49) used the Back Pain Monitor (BPM) package. The assessment of injury rate is relevant since this indicator may be considered as an incidence outcome. However, using injury rate as the only pain-related outcome may have troubled estimating the effect of the exercise intervention. Surprisingly, none of the included studies assessed pain using visual analog scale (VAS) or numeric rating scale (NRS). These simple, valid and reliable tools are widely used and are considered as a gold standard to assess pain intensity over the last seven days or the last three months (13,16,92). Therefore, further researches should associate VAS or NRS, i.e. questioning pain over the last week or last 3 months (13,17) with incidence rate (13).

To take the analysis one step further, numerous studies have also suggested combining VAS or NRS with semi-objective measurement tool such as pressure algometry (24,39,94). Pressure algometry has previously been used in workers population to assess pain sensitivity (101–103). In the present review, two studies assessed physical capacities using peak vertical ground reaction force (48), mobility, strength and endurance tests of the back muscles (49). In the study of Holmström and Ahlborg (49) the authors observed an increased thoracic and trunk flexion while no significant difference was observed for trunk muscle endurance. Such findings are common with shorts bouts of exercise and were also linked to the adherence rate (36). However, a recent review by Sjogaard et al(8) have highlighted that for physically demanding work or repeated working tasks (such as those performed in the construction industry), increasing strength and/or endurance is of importance to potentially reducing pain and decreasing muscle load during the achievement of working tasks(8). Based on this result, future studies should consider trunk muscle endurance as a primary outcome.

An unexpected finding of this review is the absence of studies assessing the effects of workplace warm-up interventions on quality of life, job satisfaction, work-ability or well-being. Regarding work- ability commonly assessed using self-administered questionnaire such the Work Ability Index (WAI) longer follow-up period are needed to observe significant

changes (104). However, the work environment is recognized as an important source of psychological stress due to work demands and pressure. This may lead to adverse mental health outcomes and impaired psychological well-being. Numerous authors have pointed that workplace physical activity may be an effective intervention on such issues (60,105,106). Self-efficacy could complement these variables (107,108). Self-efficacy can influence how much effort will be expended on a health behaviour change, (e.g. doing daily warming up), and how long it will be sustained (109–111). Therefore, this last point led us questioning about the characteristics of the intervention implemented in the four included studies of this review. In order to draw further conclusions regarding work-related outcomes, controlled high quality studies with long-term follow-up and using objective outcomes and/or validated questionnaires are required.

Potential biases in the review process

We conducted a comprehensive and transparent review process, where two review authors (NL, RB) independently performed the selection of studies, data extraction, and 'Risk of bias' assessment. To minimize selection bias, publications dates were not limited and searching through several electronic databases. Then, reference lists of included studies were screened which led to scan one study (46) which did not appear during the initial search strategy. During the full-text assessment, seven studies were excluded (39,84–89). Disagreements in the selection process were resolved through consensus, meaning that a third assessor (NV) was not necessary. Due to the very small number of studies included in the current review (n=3), we could not create funnel plots and assess publication bias. In case more studies can be included in an update of this review, we aim to assess publication bias.

Strengths

One of the strengths of this systematic review is the comprehensive search strategy used across major electronic databases. This choice facilitated a more evidence-based approach to literature searching. This review included searches among four electronic databases (Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), PubMed (Medline), Web of Science and Physiotherapy Evidence Database (PEDro), thus reducing the risk of missing relevant studies for inclusion. By following the PRISMA guidelines for systematic reviews, we ensured a systematic research process, which included a parallel independent screening, data extraction, and risk of bias assessment by two review authors (NL, RB) independently to minimize potential biases in the review process. A third review author (NV) supervised all the process and validated the agreements found by the two other authors. We resolved any

disagreement through discussion. Overall, the use of recommended standard reporting instruments such as, Cochrane tool for RCT risk of bias, ROBINS-I tool and GRADE guidelines strengthens the conclusion of the review.

Limitations

On the one hand, the lack of studies and especially high quality studies can be considered as the strongest limitation of this review. Among the three included studies, none of them were graded as having high quality evidence. All studies were at overall moderate to serious risk of bias. On the other hand, due to the variety of study designs (population, types and duration of exercise interventions, tools used for outcomes); it was difficult to perform a synthesis across studies, which affects the possibility of drawing overall conclusions.

Recommendations for future research

The three included studies in this review showed positive effects of workplace warm-up interventions on injury rate (47) and physical function (48,49). However, this result should be interpreted with caution since all studies present serious risk of bias and low quality evidence. Therefore, the effectiveness of workplace warm-up interventions to prevent WMSDs still remains to be established and does require further work to improve the quality of studies. Key improvement issue evidence from this review indicates that further studies should give a particular attention to blind participants and examiners. Different warm-up designs in terms of content, duration, intensity and supervision should also be assessed to establish an effective and specific warm-up to each “at risk” population. Such designs should assess pain using the combination of incidence rate and pain intensity and use similar related outcomes to a better comparison. They should also allow a sex, age, pain intensity or supervision comparison between groups for a more detailed and relevant analysis.

Conclusion

Due to the low number of studies (n=3), the heterogeneity of the warm-up interventions and the inconsistency of effects on pain, there was no evidence supporting the use of warm-up to prevent WMSDs in the workplace. The present findings highlighted the need of good quality studies targeting the effects of the different warm-up interventions (stretching, dynamic and hybrid) to prevent WMSDs.

References

1. Punnett L. Musculoskeletal disorders and occupational exposures: how should we judge the evidence concerning the causal association? *Scand J Public Health*. 2014 Mar;42(13 Suppl):49–58.
2. Bayattork M, Jakobsen MD, Sundstrup E, Seidi F, Bay H, Andersen LL. Musculoskeletal pain in multiple body sites and work ability in the general working population: cross-sectional study among 10,000 wage earners. *Scandinavian Journal of Pain*. 2019 Jan 28;19(1):131–7.
3. Bevan S. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2015 Jun;29(3):356–73.
4. Woolf AD, Erwin J, March L. The need to address the burden of musculoskeletal conditions. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2012 Apr;26(2):183–224.
5. Blyth FM, Briggs AM, Schneider CH, Hoy DG, March LM. The Global Burden of Musculoskeletal Pain—Where to From Here? *Am J Public Health*. 2019 Jan;109(1):35–40.
6. James SL, Abate D, Abate KH, Abay SM, Abbafati C, Abbasi N, et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*. 2018 Nov 10;392(10159):1789–858.
7. Holtermann A, Mathiassen SE, Straker L. Promoting health and physical capacity during productive work: the Goldilocks Principle. *Scand J Work Environ Health*. 2019 01;45(1):90–7.
8. Sjøgaard G, Christensen JR, Justesen JB, Murray M, Dalager T, Fredslund GH, et al. Exercise is more than medicine: The working age population’s well-being and productivity. *Journal of Sport and Health Science*. 2016 Jun 1;5(2):159–65.
9. Sjøgaard K, Sjøgaard G. Physical Activity as Cause and Cure of Muscular Pain: Evidence of Underlying Mechanisms. *Exerc Sport Sci Rev*. 2017;45(3):136–45.
10. Bell JA, Burnett A. Exercise for the Primary, Secondary and Tertiary Prevention of Low Back Pain in the Workplace: A Systematic Review. *J Occup Rehabil*. 2009 Mar 1;19(1):8–24.
11. Kuoppala J, Lamminpää A, Husman P. Work health promotion, job well-being, and sickness absences-- a systematic review and meta-analysis. *J Occup Environ Med*. 2008 Nov;50(11):1216–27.
12. Hoosain M, de Klerk S, Burger M. Workplace-Based Rehabilitation of Upper Limb Conditions: A Systematic Review. *J Occup Rehabil*. 2019;29(1):175–93.
13. Chen X, Coombes BK, Sjøgaard G, Jun D, O’Leary S, Johnston V. Workplace-Based Interventions for Neck Pain in Office Workers: Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*. 2018 Jan 1;98(1):40–62.
14. Coury HJCG, Moreira R de FC, Dias NB. Evaluation of the effectiveness of workplace exercise in controlling neck, shoulder and low back pain: a systematic review Efetividade do exercício físico em ambiente ocupacional para controle da dor cervical, lombar e do ombro: uma revisão sistemática [Internet]. 2009 [cited 2020 Jun 11]. Available from: /paper/Evaluation-of-the-effectiveness-of-workplace-in-and-Coury-Moreira/015911ea841c2d88660cd851fe1159b39bd7bf75
15. Moreira-Silva I, Teixeira PM, Santos R, Abreu S, Moreira C, Mota J. The Effects of Workplace Physical Activity Programs on Musculoskeletal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Workplace Health Saf*. 2016 May;64(5):210–22.
16. Rodrigues EV, Gomes ARS, Tanhoffer AIP, Leite N. Effects of exercise on pain of musculoskeletal disorders: a systematic review. *Acta Ortop Bras*. 2014;22(6):334–8.
17. Skamagki G, King A, Duncan M, Wählin C. A systematic review on workplace interventions to manage chronic musculoskeletal conditions. *Physiother Res Int*. 2018 Oct;23(4):e1738.
18. Proper KI, van Oostrom SH. The effectiveness of workplace health promotion interventions on physical and mental health outcomes - a systematic review of reviews. *Scand J Work Environ Health*. 2019 01;45(6):546–59.
19. Lowry V, Desjardins-Charbonneau A, Roy JS, Dionne CE, Frémont P, MacDermid JC, et al. Efficacy of workplace interventions for shoulder pain: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med*. 2017 Jul 7;49(7):529–42.
20. Maciel RRBT, Dos Santos NC, Portella DDA, Alves PGJM, Martinez BP. Effects of physical exercise at the workplace for treatment of low back pain: a systematic review with meta-analysis. *Rev Bras Med Trab*. 2018;16(2):225–35.
21. Macniven R, Engelen L, Kacen MJ, Bauman A. Does a corporate worksite physical activity program reach those who are inactive? Findings from an evaluation of the Global Corporate Challenge. *Health Promot J Austr*. 2015 Aug;26(2):142–5.
22. Jørgensen MB, Rasmussen CDN, Ekner D, Sjøgaard K. Successful reach and adoption of a workplace health promotion RCT targeting a group of high-risk workers. *BMC Med Res Methodol*. 2010 Jun 14;10:56.

23. Pereira MJ, Coombes BK, Comans TA, Johnston V. The impact of onsite workplace health-enhancing physical activity interventions on worker productivity: a systematic review. *Occup Environ Med.* 2015 Jun;72(6):401–12.
24. Andersen CH, Andersen LL, Zebis MK, Sjøgaard G. Effect of Scapular Function Training on Chronic Pain in the Neck/Shoulder Region: A Randomized Controlled Trial. *J Occup Rehabil.* 2014;24(2):316–24.
25. Hagberg M, Harms-Ringdahl K, Nisell R, Hjelm EW. Rehabilitation of neck-shoulder pain in women industrial workers: a randomized trial comparing isometric shoulder endurance training with isometric shoulder strength training. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000 Aug;81(8):1051–8.
26. Jakobsen MD, Sundstrup E, Brandt M, Andersen LL. Factors affecting pain relief in response to physical exercise interventions among healthcare workers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 2017;27(12):1854–63.
27. Jay K, Frisch D, Hansen K, Zebis MK, Andersen CH, Mortensen OS, et al. Kettlebell training for musculoskeletal and cardiovascular health: a randomized controlled trial. *Scand J Work Environ Health.* 2011 May;37(3):196–203.
28. Jay K, Brandt M, Hansen K, Sundstrup E, Jakobsen MD, Schraefel MC, et al. Effect of Individually Tailored Biopsychosocial Workplace Interventions on Chronic Musculoskeletal Pain and Stress Among Laboratory Technicians: Randomized Controlled Trial. *Pain Physician.* 2015 Oct;18(5):459–71.
29. Viljanen M, Malmivaara A, Uitti J, Rinne M, Palmroos P, Laippala P. Effectiveness of dynamic muscle training, relaxation training, or ordinary activity for chronic neck pain: randomised controlled trial. *BMJ.* 2003 Aug 30;327(7413):475.
30. Prieske O, Dalager T, Herz M, Hortobagyi T, Sjøgaard G, Søgaard K, et al. Effects of Physical Exercise Training in the Workplace on Physical Fitness: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.* 2019 Dec 1;49(12):1903–21.
31. Andersen LL, Zebis MK. Process evaluation of workplace interventions with physical exercise to reduce musculoskeletal disorders. *Int J Rheumatol.* 2014;2014:761363.
32. Bredahl TVG, Særvoll CA, Kirkelund L, Sjøgaard G, Andersen LL. When Intervention Meets Organisation, a Qualitative Study of Motivation and Barriers to Physical Exercise at the Workplace [Internet]. Vol. 2015, *The Scientific World Journal.* Hindawi; 2015 [cited 2020 Jun 10]. p. e518561. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2015/518561/>
33. Chau JY, Engelen L, Kolbe-Alexander T, Young S, Olsen H, Gilson N, et al. “In Initiative Overload”: Australian Perspectives on Promoting Physical Activity in the Workplace from Diverse Industries. *Int J Environ Res Public Health.* 2019 12;16(3).
34. Planchard JH, Corrion K, Lehmann L, d’Arripe-Longueville F. Worksite Physical Activity Barriers and Facilitators: A Qualitative Study Based on the Transtheoretical Model of Change. *Front Public Health* [Internet]. 2018 [cited 2020 Jun 10];6. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2018.00326/full>
35. Wierenga D, Engbers LH, Van Empelen P, Duijts S, Hildebrandt VH, Van Mechelen W. What is actually measured in process evaluations for worksite health promotion programs: a systematic review. *BMC Public Health.* 2013 Dec 17;13:1190.
36. Andersen CH, Andersen LL, Gram B, Pedersen MT, Mortensen OS, Zebis MK, et al. Influence of frequency and duration of strength training for effective management of neck and shoulder pain: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* 2012 Nov;46(14):1004–10.
37. Blangsted AK, Søgaard K, Hansen EA, Hannerz H, Sjøgaard G. One-year randomized controlled trial with different physical-activity programs to reduce musculoskeletal symptoms in the neck and shoulders among office workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health.* 2008;34(1):55–65.
38. Dalager T, Bredahl TGV, Pedersen MT, Boyle E, Andersen LL, Sjøgaard G. Does training frequency and supervision affect compliance, performance and muscular health? A cluster randomized controlled trial. *Man Ther.* 2015 Oct;20(5):657–65.
39. Balaguier R, Madeleine P, Rose-Dulcina K, Vuillerme N. Effects of a Worksite Supervised Adapted Physical Activity Program on Trunk Muscle Endurance, Flexibility, and Pain Sensitivity Among Vineyard Workers. *Journal of Agromedicine.* 2017 Jul 3;22(3):200–14.
40. McCrary JM, Ackermann BJ, Halaki M. A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br J Sports Med.* 2015 Jul;49(14):935–42.
41. Fradkin AJ, Zazryn TR, Smoliga JM. Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2010 Jan;24(1):140–8.
42. Hammami A, Zois J, Slimani M, Russel M, Bouhleb E. The efficacy and characteristics of warm-up and re-warm-up practices in soccer players: a systematic review. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018 Feb;58(1–2):135–49.

43. Neiva HP, Marques MC, Barbosa TM, Izquierdo M, Marinho DA. Warm-up and performance in competitive swimming. *Sports Med.* 2014 Mar;44(3):319–30.
44. Ehlert A, Wilson PB. A Systematic Review of Golf Warm-ups: Behaviors, Injury, and Performance. *J Strength Cond Res.* 2019 Dec;33(12):3444–62.
45. Silva LM, Neiva HP, Marques MC, Izquierdo M, Marinho DA. Effects of Warm-Up, Post-Warm-Up, and Re-Warm-Up Strategies on Explosive Efforts in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Med.* 2018 Oct;48(10):2285–99.
46. Aje OO, Smith-Campbell B, Bett C. Preventing Musculoskeletal Disorders in Factory Workers: Evaluating a New Eight Minute Stretching Program. *Workplace Health Saf.* 2018 Jul;66(7):343–7.
47. Gartley RM, Prosser JL. Stretching to prevent musculoskeletal injuries. An approach to workplace wellness. *AAOHN J.* 2011 Jun;59(6):247–52.
48. DiStefano LJ, Marshall SW, Padua DA, Peck KY, Beutler AI, de la Motte SJ, et al. The Effects of an Injury Prevention Program on Landing Biomechanics Over Time. *Am J Sports Med.* 2016 Mar;44(3):767–76.
49. Holmström E, Ahlberg B. Morning warming-up exercise--effects on musculoskeletal fitness in construction workers. *Appl Ergon.* 2005 Jul;36(4):513–9.
50. Larinier N, Balaguier R, Vuillerme N. How much do we know about the effectiveness of warm-up intervention on work related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions: protocol for a systematic review. *BMJ Open* [Internet]. 2020 Nov 26 [cited 2021 Jan 15];10(11). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7692815/>
51. Burdorf A, van der Beek AJ. To RCT or not to RCT: evidence on effectiveness of return-to-work interventions. *Scand J Work Environ Health.* 2016 01;42(4):257–9.
52. Burton, WHO. WHO healthy workplace framework and model: background and supporting literature and practices. World Health Organization; 2010.
53. Kwak L, Kremers SPJ, van Baak MA, Brug J. Participation rates in worksite-based intervention studies: health promotion context as a crucial quality criterion. *Health Promot Int.* 2006 Mar 1;21(1):66–9.
54. Malik SH, Blake H, Suggs LS. A systematic review of workplace health promotion interventions for increasing physical activity. *Br J Health Psychol.* 2014 Feb;19(1):149–80.
55. Marshall AL. Challenges and opportunities for promoting physical activity in the workplace. *J Sci Med Sport.* 2004 Apr;7(1 Suppl):60–6.
56. Schelvis RMC, Oude Hengel KM, Burdorf A, Blatter BM, Strijk JE, van der Beek AJ. Evaluation of occupational health interventions using a randomized controlled trial: challenges and alternative research designs. *Scand J Work Environ Health.* 2015 Sep 1;41(5):491–503.
57. Cuello-Garcia CA, Morgan RL, Brozek J, Santesso N, Verbeek J, Thayer K, et al. A scoping review and survey provides the rationale, perceptions, and preferences for the integration of randomized and nonrandomized studies in evidence syntheses and GRADE assessments. *J Clin Epidemiol.* 2018;98:33–40.
58. Reeves BC, Higgins JPT, Ramsay C, Shea B, Tugwell P, Wells GA. An introduction to methodological issues when including non-randomised studies in systematic reviews on the effects of interventions. *Res Synth Methods.* 2013 Mar;4(1):1–11.
59. Schünemann HJ, Tugwell P, Reeves BC, Akl EA, Santesso N, Spencer FA, et al. Non-randomized studies as a source of complementary, sequential or replacement evidence for randomized controlled trials in systematic reviews on the effects of interventions. *Res Synth Methods.* 2013 Mar;4(1):49–62.
60. Bordado Sköld M, Bayattork M, Andersen LL, Schlünssen V. Psychosocial effects of workplace exercise - A systematic review. *Scand J Work Environ Health.* 2019 01;45(6):533–45.
61. Woods K, Bishop P, Jones E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med.* 2007;37(12):1089–99.
62. Luger T, Maher CG, Rieger MA, Steinhilber B. Work-break schedules for preventing musculoskeletal symptoms and disorders in healthy workers. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019 23;7:CD012886.
63. Too LS, Leach L, Butterworth P. Is the association between poor job control and common mental disorder explained by general perceptions of control? Findings from an Australian longitudinal cohort. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health.* 2020;46(3):311–20.
64. Coenen P, Huysmans MA, Holtermann A, Krause N, Mechelen W van, Straker LM, et al. Do highly physically active workers die early? A systematic review with meta-analysis of data from 193 696 participants. *Br J Sports Med.* 2018 Oct 1;52(20):1320–6.
65. Sultan-Taïeb H, Parent-Lamarche A, Gaillard A, Stock S, Nicolakakis N, Hong QN, et al. Economic evaluations of ergonomic interventions preventing work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of organizational-level interventions. *BMC Public Health.* 2017 Dec 8;17(1):935.

66. Padula RS, Comper MLC, Sparer EH, Dennerlein JT. Job rotation designed to prevent musculoskeletal disorders and control risk in manufacturing industries: A systematic review. *Appl Ergon*. 2017 Jan;58:386–97.
67. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration’s tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 2011 Oct 18;343.
68. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Blencowe NS, Boutron I, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ [Internet]*. 2019 Aug 28 [cited 2020 Jun 19];366. Available from: <https://www.bmj.com/content/366/bmj.l4898>
69. Sterne JA, Hernán MA, Reeves BC, Savović J, Berkman ND, Viswanathan M, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ*. 2016 Oct 12;355.
70. dos Santos Franco YR, Miyamoto GC, Franco KFM, de Oliveira RR, Cabral CMN. Exercise therapy in the treatment of tendinopathies of the lower limbs: a protocol of a systematic review. *Systematic Reviews*. 2019 Jun 15;8(1):142.
71. Huffman MK, Reed JB, Carpenter T, Amireault S. Maintenance motives for physical activity among older adults: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2020 Feb 13;10(2):e032605.
72. Larsen RT, Christensen J, Juhl CB, Andersen HB, Langberg H. Physical activity monitors to enhance the daily amount of physical activity in elderly-a protocol for a systematic review and meta-analysis. *Syst Rev*. 2018 02;7(1):69.
73. Seeberg KGV, Andersen LL, Bengtsen E, Sundstrup E. Effectiveness of workplace interventions in rehabilitating musculoskeletal disorders and preventing its consequences among workers with physical and sedentary employment: systematic review protocol. *Syst Rev*. 2019 27;8(1):219.
74. Ubago-Guisado E, Gracia-Marco L, Cavero-Redondo I, Martínez-Vizcaino V, Notario-Pacheco B, Pozuelo-Carrascosa DP, et al. Effect of different types of exercise on health-related quality of life during and after cancer treatment: a protocol for a systematic review and network meta-analysis. *BMJ Open*. 2019 03;9(11):e031374.
75. Jones RA, Lawlor ER, Griffin SJ, van Sluijs EMF, Ahern AL. Impact of adult weight management interventions on mental health: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open*. 2020 20;10(1):e031857.
76. Guyatt G, Oxman AD, Akl EA, Kunz R, Vist G, Brozek J, et al. GRADE guidelines: 1. Introduction- GRADE evidence profiles and summary of findings tables. *J Clin Epidemiol*. 2011 Apr;64(4):383–94.
77. Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WE, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *Am J Sports Med*. 2009 Oct;37(10):1996–2002.
78. Padua DA, DiStefano LJ, Beutler AI, de la Motte SJ, DiStefano MJ, Marshall SW. The Landing Error Scoring System as a Screening Tool for an Anterior Cruciate Ligament Injury-Prevention Program in Elite-Youth Soccer Athletes. *J Athl Train*. 2015 Jun;50(6):589–95.
79. Hyytiäinen K, Jj S, T S, G W, J P. Reproducibility of nine tests to measure spinal mobility and trunk muscle strength. *Scand J Rehabil Med*. 1991 Jan 1;23(1):3–10.
80. Shipp KM, Purse JL, Gold DT, Pieper CF, Sloane R, Schenkman M, et al. Timed loaded standing: a measure of combined trunk and arm endurance suitable for people with vertebral osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2000;11(11):914–22.
81. Alaranta H, Rytökoski U, Rissanen A, Talo S, Rönnemaa T, Puukka P, et al. Intensive physical and psychosocial training program for patients with chronic low back pain. A controlled clinical trial. *Spine*. 1994 Jun 15;19(12):1339–49.
82. Biering-Sørensen F. Physical Measurements as Risk Indicators for Low-Back Trouble Over a One-Year Period. *Spine*. 1984 Mar;9(2):106–19.
83. Latimer J, Maher CG, Refshauge K, Colaco I. The reliability and validity of the Biering-Sorensen test in asymptomatic subjects and subjects reporting current or previous nonspecific low back pain. *Spine*. 1999 Oct 15;24(20):2085–9; discussion 2090.
84. Correa M, J C, N S. A physical fitness program for health professionals and students. *Bol Asoc Med P R*. 1989 Dec 1;81(12):471–4.
85. Galka ML. Back injury prevention program on a spinal cord injury unit. *SCI Nurs*. 1991 Jun;8(2):48–51.
86. Vercruyssen S, Haerens L, Verhagen E, Goossens L, De Clercq D. Effects of a multifactorial injury prevention intervention in physical education teachers: A randomized controlled trial. *Eur J Sport Sci*. 2016 Oct;16(7):868–76.
87. Kluth K, Penzkofer M, Strasser H. Age-Related Physiological Responses to Working in Deep Cold. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*. 2013;23(3):163–72.

88. Springer JB, Eickhoff-Shemek JM, Zuberbuehler EJ. An investigation of pre-activity cardiovascular screening procedures in health/fitness facilities--part II: rationale for low adherence with national standards. *Prev Cardiol.* 2009;12(4):176–83.
89. Mischishita et al. The practice of active rest by workplace units improves personal relationships, mental health, and physical activity among workers [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5478529/>
90. Guyatt GH, Oxman AD, Montori V, Vist G, Kunz R, Brozek J, et al. GRADE guidelines: 5. Rating the quality of evidence--publication bias. *J Clin Epidemiol.* 2011 Dec;64(12):1277–82.
91. Waongenngarm P, Areerak K, Janwantanakul P. The effects of breaks on low back pain, discomfort, and work productivity in office workers: A systematic review of randomized and non-randomized controlled trials. *Appl Ergon.* 2018 Apr;68:230–9.
92. Sundstrup E, Seeberg KGV, Bengtsen E, Andersen LL. A Systematic Review of Workplace Interventions to Rehabilitate Musculoskeletal Disorders Among Employees with Physical Demanding Work. *J Occup Rehabil.* 2020 Mar 26;
93. Andersen LL, Saervoll CA, Mortensen OS, Poulsen OM, Hannerz H, Zebis MK. Effectiveness of small daily amounts of progressive resistance training for frequent neck/shoulder pain: randomised controlled trial. *Pain.* 2011 Feb;152(2):440–6.
94. Jakobsen MD, Sundstrup E, Brandt M, Jay K, Aagaard P, Andersen LL. Effect of workplace- versus home-based physical exercise on musculoskeletal pain among healthcare workers: a cluster randomized controlled trial. *Scand J Work Environ Health.* 2015 Mar;41(2):153–63.
95. Wang D, Dai F, Ning X. Risk Assessment of Work-Related Musculoskeletal Disorders in Construction: State-of-the-Art Review. *Journal of Construction Engineering and Management.* 2015 Jun 1;141(6):04015008.
96. Umer W, Antwi-Afari MF, Li H, Szeto GPY, Wong AYL. The prevalence of musculoskeletal symptoms in the construction industry: a systematic review and meta-analysis. *Int Arch Occup Environ Health.* 2018;91(2):125–44.
97. Osborne A, Blake C, Fullen BM, Meredith D, Phelan J, McNamara J, et al. Prevalence of musculoskeletal disorders among farmers: A systematic review. *Am J Ind Med.* 2012 Feb;55(2):143–58.
98. Parry SP, Coenen P, Shrestha N, O’Sullivan PB, Maher CG, Straker LM. Workplace interventions for increasing standing or walking for decreasing musculoskeletal symptoms in sedentary workers. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019 17;2019(11).
99. Driessen MT, Lin CWC, van Tulder MW. Cost-effectiveness of conservative treatments for neck pain: a systematic review on economic evaluations. *Eur Spine J.* 2012 Aug;21(8):1441–50.
100. Pedersen MT, Andersen CH, Zebis MK, Sjøgaard G, Andersen LL. Implementation of specific strength training among industrial laboratory technicians: long-term effects on back, neck and upper extremity pain. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2013 Oct 9;14(1):287.
101. Schenk P, Laeubli T, Klipstein A. Validity of pressure pain thresholds in female workers with and without recurrent low back pain. *Eur Spine J.* 2007 Feb;16(2):267–75.
102. Chesterton LS, Sim J, Wright CC, Foster NE. Interrater Reliability of Algometry in Measuring Pressure Pain Thresholds in Healthy Humans, Using Multiple Raters. *The Clinical Journal of Pain.* 2007 Dec;23(9):760–6.
103. Graven-Nielsen T, Vaegter HB, Finocchietti S, Handberg G, Arendt-Nielsen L. Assessment of musculoskeletal pain sensitivity and temporal summation by cuff pressure algometry: a reliability study. *PAIN.* 2015 Nov;156(11):2193–202.
104. Grimani. The effectiveness of workplace nutrition and physical activity interventions in improving productivity, work performance and workability: A Systematic Review. 2019 Dec 6 [cited 2020 May 18]; Available from: <https://www.researchsquare.com/article/rs-3332/v3>
105. Chu AHY, Koh D, Moy FM, Müller-Riemenschneider F. Do workplace physical activity interventions improve mental health outcomes? *Occup Med (Lond).* 2014 Jun 1;64(4):235–45.
106. Conn VS, Hafdahl AR, Cooper PS, Brown LM, Lusk SL. Meta-analysis of workplace physical activity interventions. *Am J Prev Med.* 2009 Oct;37(4):330–9.
107. Vermeulen SJ, Anema JR, Schellart AJM, van Mechelen W, van der Beek AJ. Cost-effectiveness of a participatory return-to-work intervention for temporary agency workers and unemployed workers sick-listed due to musculoskeletal disorders: design of a randomised controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010 Mar 28;11:60.
108. de Vries H, Dijkstra M, Kuhlman P. Self-efficacy: the third factor besides attitude and subjective norm as a predictor of behavioural intentions. *Health Education Research [Internet].* 1988 Jan 1 [cited 2020 Jun 12]; Available from: <https://www.scienceopen.com/document?vid=c009c758-6591-440c-95b5-6fbce93cc5e4>

109. Iwasaki Y, Honda S, Kaneko S, Kurishima K, Honda A, Kakinuma A, et al. Exercise Self-Efficacy as a Mediator between Goal-Setting and Physical Activity: Developing the Workplace as a Setting for Promoting Physical Activity. *Saf Health Work*. 2017 Mar;8(1):94–8.
110. Pedersen MM, Zebis MK, Langberg H, Poulsen OM, Mortensen OS, Jensen JN, et al. Influence of self-efficacy on compliance to workplace exercise. *Int J Behav Med*. 2013 Sep;20(3):365–70.
111. Keller J, Gellert P, Knoll N, Schneider M, Ernsting A. Self-Efficacy and Planning as Predictors of Physical Activity in the Context of Workplace Health Promotion. *Appl Psychol Health Well Being*. 2016 Nov;8(3):301–21.

2.2.1. Résultats de la revue systématique

2.2.1.1. Nombre d'études

La contribution 2 a mis en évidence plusieurs éléments importants. Tout d'abord, cette dernière a fait ressortir un « écart » important entre l'intérêt grandissant des entreprises pour ce type d'intervention (nombre d'articles important dans la littérature « grise ») et le nombre d'articles publiés dans des revues scientifiques. En effet, malgré des critères d'inclusion volontairement peu restrictifs (inclusion des études non randomisées) nous n'avons répertorié que 3 études (DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlberg, 2005) qui ont évalué l'impact d'un échauffement réalisé sur le lieu de travail sur la douleur et les capacités physiques de travailleurs. À noter qu'aucune d'entre elles ne s'est d'ailleurs directement intéressée aux TMS en tant que tel. En plus du très petit nombre d'études identifiées, la qualité de celles-ci peut être questionnée. En effet, ces études avaient un risque de biais modéré (DiStefano et al., 2016) à important (Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlberg, 2005) car par exemple les participants et les intervenants n'étaient pas aveugles quant à la répartition des groupes.

Dans cette revue de littérature, les études incluses présentent également une grande hétérogénéité en termes de population et d'intervention. En effet, Gartley et Prosser (Gartley and Prosser, 2011) ont recruté des salariés manutentionnaires ou des livreurs, l'étude de DiStefano et coll. (DiStefano et al., 2016) a été réalisée auprès de jeunes recrues de l'armée américaine et enfin l'étude d'Holmström et Ahlberg (Holmström and Ahlberg, 2005) a évalué l'effet d'un échauffement auprès d'ouvriers du bâtiment. Les interventions étaient toutes différentes les unes des autres en termes de modalités d'exercices, de durée ou de supervision.

2.2.1.2. Modalités d'échauffement

Dans un second temps, cette revue de littérature a permis d'identifier 3 modalités d'échauffements différentes mises en place et évaluées dans les études (stretching, dynamique et hybride), modalités également retrouvées fréquemment dans le milieu sportif.

La modalité stretching, utilisée dans l'étude de Gartley et Prosser (Gartley and Prosser, 2011), est constituée de 9 exercices d'étirements maintenus 10 à 15 secondes chacun pour une durée totale d'environ 6 minutes. La modalité dynamique, mise en avant par DiStefano et coll. (DiStefano et al., 2016), d'une durée de 10 à 12 minutes, est quant à elle constituée d'exercices dynamiques, issus du renforcement musculaire et mettant l'accent sur la pliométrie et l'équilibre. Enfin, l'étude d'Holmström et Ahlberg (Holmström and Ahlberg,

2005), a implémenté un échauffement mêlant des exercices dynamiques et des étirements, appelé modalité hybride.

2.2.1.3. Secteur viticole

Enfin, cette revue de littérature a démontré qu'aucune étude n'a jusqu'alors été réalisée dans le secteur agricole. En effet, Gartley et Prosser (Gartley and Prosser, 2011) ont mis en place leur échauffement auprès de salariés d'un entrepôt et des livreurs aux Etats-Unis, l'étude de DiStefano et coll. (DiStefano et al., 2016) a été réalisée auprès de jeunes recrues de l'armée américaine et enfin l'étude d'Holmström et Ahlborg (Holmström and Ahlborg, 2005) a évalué l'effet d'un échauffement auprès d'ouvriers du bâtiment en Suède. Ce résultat souligne donc l'intérêt de concevoir, mettre en place et évaluer les effets de ce type de programme dans le secteur viticole, particulièrement concerné par les TMS, mais pas encore étudié dans le domaine de l'échauffement.

Partie 3. Contributions doctorales

3.1. Effets d'un échauffement sur la douleur, la fréquence cardiaque, la performance au travail et les perceptions auprès de salariés viticoles

Contribution 3 : Nicolas Larinier, Nicolas Vuillerme, Alexandre Jadaud, Solène Malherbe & Romain Balaguier (2023): Effects of a warm-up intervention at the workplace on pain, heart rate, work performance and psychological perception among vineyard workers, Journal of Agromedicine, DOI: 10.1080/1059924X.2023.2173690

Résumé :

Les séances d'échauffement avant une activité physique sont largement utilisées dans le milieu sportif pour prévenir les blessures et améliorer la performance sportive. De nos jours, les entreprises supposent que les effets observés dans un contexte sportif peuvent être transférés sur le lieu de travail, en particulier parmi les travailleurs exposés à une contrainte biomécanique importante. Pourtant, les études scientifiques faisant état de l'implémentation de séances d'échauffement sur le lieu de travail sont plutôt rares et, lorsqu'elles sont disponibles, conduisent à des résultats contradictoires en raison de la faible qualité des études. À notre connaissance, aucune étude n'a été publiée à ce jour pour évaluer les effets de séances d'échauffement dans une population de salariés viticoles. Cette étude visait à déterminer si une seule séance d'échauffement supervisée pouvait être efficace sur l'intensité de la douleur perçue, la fréquence cardiaque, le rendement au travail et les perceptions psychologiques chez les vignerons. Le calcul de la taille de l'échantillon a mis en évidence le besoin de recruter 30 personnes. Ce calcul a utilisé un risque alpha de 0,05 et un risque bêta de 0,20 avec une perte de suivi estimée de 15%. Au total, 31 vignerons ont participé à une étude croisée randomisée sur leur lieu de travail. Ils ont été observés en condition réelle de travail, et plus précisément pendant l'activité de taille. Chaque participant a effectué cette activité de taille dans deux conditions: 1) avec une séance d'échauffement préalable (WU) et 2) sans échauffement (NWU). La fréquence cardiaque (FC) a été évaluée en continu avant et pendant l'échauffement, ainsi que pendant la première heure de taille. L'intensité de la douleur perçue sur quinze régions anatomiques a été évaluée avant (T0) et immédiatement après (T1) l'échauffement, et après la première heure de travail (T2). L'état de préparation au travail a été évalué à T1. Le rendement au travail a été évalué en fonction du nombre de tâches accomplies (nombre de vignes taillées). La qualité du travail perçue et la capacité de travailler perçue ont été évaluées à T2. L'intensité de la douleur perçue dans la région lombaire était

significativement plus élevée à T2 qu'à T0, et à T2 qu'à T1, à la fois dans la condition WU et NWU. L'intensité perçue de la douleur n'était pas significativement différente à T2 dans les conditions WU et NWU. La FC à T1 était significativement plus élevée dans la condition WU que dans la condition NWU. Le rendement au travail, l'état de préparation au travail et la capacité de travail perçue étaient considérablement plus élevés dans la condition WU que dans la condition NWU.

Cette étude a montré qu'une séance d'échauffement supervisée de 15 minutes sur le lieu de travail peut donner des résultats prometteurs en ce qui concerne la performance au travail et la perception psychologique.

Abstract

Objectives

Warm-up sessions before physical activity are widely used in sports to help prevent injury and improve performance. Nowadays, companies assume that the effects observed in a sport context can be transferred to the workplace, particularly among workers exposed to biomechanical strain. Yet research on the use of warm-up interventions at the workplace is rather scarce and, when available, leads to conflicting results due to the low quality of the studies. To the best of our knowledge, there are no published studies to date assessing the effects of warm-up sessions among vineyard workers. The present study was designed to investigate if and how a single supervised warm-up session could be effective on perceived pain intensity, heart rate, work performance, and psychological perceptions among vineyard workers.

Methods

A total of 31 vineyard workers completed a randomized crossover study at the workplace. They were observed in real work settings, i.e. during the pruning activity. Each participant performed the activity under two conditions: 1) with a warm-up session beforehand (WU) and 2) without any warm-up (NWU). Heart rate (HR) was assessed continuously before and during the warm-up, and during the first hour of pruning. Perceived pain intensity over fifteen anatomical locations was assessed before (T0) and immediately after (T1) warm-up, and after the first hour of work (T2). Readiness to work was assessed at T1. Work performance was assessed in terms of the number of completed tasks (number of pruned vines). Perceived work quality and perceived work ability were assessed at T2.

Results

Perceived pain intensity over the lumbopelvic region was significantly higher at T2 than at T0, and at T2 than at T1, in both WU and NWU. Perceived pain intensity was not significantly different at T2 in WU and NWU. HR at T1 was significantly higher in WU than in NWU. Work performance, readiness to work, and perceived work ability were significantly higher in WU than in NWU.

Conclusion

This study showed that offering vineyard workers a supervised warm-up session at the workplace can lead to promising results where work performance and psychological perception are concerned.

Key-words

Warm-up Exercise / workers / pain / vineyard

Introduction

Performing warm-up exercises such as aerobic, dynamic, or stretching exercises before physical activity is common and well-accepted in sports. These exercises aim to prepare and lead the athlete to his physically and psychologically optimal potential to produce the best possible performance with a minimal injury risk [1,2]. The positive effects of warm-up exercises on performance are associated both with biomechanical and physiological responses. Regarding biomechanical responses, warm-ups can decrease the passive resistance of joints and muscles [3]. Regarding physiological responses, numerous studies have demonstrated that warm-ups can increase muscle blood flow by vasodilation [4–6], leading to improved oxidative energy metabolism. Warm-up exercises are also known to have positive effects on muscle injuries [7] as they increase stretching ability and muscle resistance, thus limiting the risk of tearing [7]. Influenced by the positive effects observed in sports, an increasing number of companies are interested in offering warm-ups to their staff before the working day [8–11]. This is especially true for companies exposing workers to physically strenuous jobs and reporting high levels of occupational injuries, like in the agricultural sector. These companies assume that the positive effects observed in the sports context could be transferred to their work context [9,10]. The French health insurance system for agricultural workers (MSA) reported that musculoskeletal disorders were responsible for the majority of recognized and compensated occupational diseases in the sector. For instance, in France, in 2016, the MSA reported a total cost of 88 850 229 euros and an average cost of 25 263 euros per sickness leave. Within the agricultural sector, the wine production industry is one of the most affected sectors, accounting for 17.6% of musculoskeletal disorders [12–14]. To the best of our knowledge, only one study to date has assessed the effects of warm-up intervention among vineyard workers [8]. In that study, participants were invited to perform a warm-up session before the working day associated with strength and flexibility exercises at the end of the working day, for 8 consecutive weeks. Even if the intervention led to positive results on pain intensity and physical capacities, a conclusion could not be drawn about the specific effects of the warm-up sessions. In other physically demanding sectors, the analysis of the scientific literature on this topic highlighted a gap between the growing interest of companies in implementing warm-up intervention and their real effects in the workplace: studies reporting the effects of workplace warm-up interventions [15] are scarce, and when available they lead to conflicting results [9–11,16]. Among those studies, the most common type of warm-up implemented at the workplace can be called “hybrid warm-up”. It is a

combination of 20 dynamic and stretching exercises designed to produce positive effects on several outcomes related to musculoskeletal disorders such as pain, flexibility, strength, and work performance. The warm-up used in the only study among vineyard workers was also a hybrid warm-up, generally performed in 10-15 minutes [8]. In Balaguier's study [8], the hybrid warm-up was associated with strength training. Specific effects of the "hybrid" warm-up intervention were hence never evaluated among vineyard workers. There is therefore a crucial need for additional studies examining the benefits of warm-up interventions delivered in the workplace, particularly in the agricultural sector. The present study aimed to investigate if and how a single supervised warm-up session could be effective on perceived pain intensity, heart rate, work performance, and psychological perception among vineyard workers.

Based upon the effects observed in a sports context and the conflicting results observed at the workplace, it was hypothesized that implementing a warm-up session among vineyard workers could be beneficial on perceived pain intensity [17–19], heart rate [1,20], work performance [1,2] and psychological perception [21–23].

Methods

Study design

A randomized cross-over study [24,25] was implemented from November 2020 to March 2021 among vineyard workers recruited from six wine companies located in the Bordeaux vineyard (France). As most of the measures in the present study are subjective and might have great inter-individual variability, the randomized cross-over design with a self-comparator maximizes statistical power from the sample size [24–26].

Recruitment and flow of participants

The sample size calculation, using an alpha risk of 0.05 and a beta risk of 0.20 with an estimated follow-up loss of 15%, highlighted a need for 30 subjects. Thirty-one vineyard workers volunteered to participate in the study. Inclusion criteria for participation were being aged from 18 to 60 years, presenting no previous surgery in the lumbopelvic region in the last 12 months, working full time, and having at least 1 year of employment in the company [8]. All participants were informed about the purpose and content of the project and gave their written informed consent to participate in the study. The experimental protocol received approval from the ethical committee of the companies, including union representatives. Each volunteer participated in the present study after the completion of a declarative medical

questionnaire. Finally, this study was performed following the principles of the Declaration of Helsinki (1975).

Randomization and blinding

The 31 participants performed during one hour the same professional task, pruning vines under two conditions: (1) after a warm-up intervention (WU); (2) without any warm-up intervention (NWU). The order of these two conditions was randomized for each participant.

Participants were not blinded to the intervention as they volunteered to participate and since they were aware of the intervention. The examiners were not blinded to the intervention or outcomes as they were involved in the study design.

Working activity

Pruning

Pruning is a critical component of the grape production system. In France, it takes place during the winter season (generally from November to March). Pruning activity consists in removing some wood from the vine, with a pruning shear, to select the fruiting wood (generally 2 branches in the Bordeaux vineyard) and control the quantity and the quality of the grapes produced (Image 1A and 1B). Image 2 illustrates a vineyard worker performing a pruning activity. This activity involves highly repetitive hand cutting and trunk flexion in sustained positions [12,13].



Figure 1. Grapevine before (A) and after (B) pruning.












Figure 2. Common postures adopted by vineyard workers during pruning.

Warm-up intervention

The intervention was a supervised warm-up lasting 15min and consisted of 22 exercises, presented in Table 1. These exercises were a combination of dynamic exercises and stretching exercises. These exercises are commonly used in studies implementing warm-up interventions at the workplace [9–11,16]. This warm-up aimed to focus on the body regions particularly involved in pruning activity (shoulders, elbows, wrists, upper and lower back). Interestingly, these body regions are also the most concerned by pain and work interruption in this occupation [27,28]. During the warm-up condition, vineyard workers performed the exercises under the supervision of a research team member, graduated with a master of sports science, and specialized in WMSD prevention among vineyard workers. The exercises were performed before the working day (8:00 am), in a standing position, in regular working clothes, and without any props. At the end of the 15 minutes, vineyard workers were invited to start as fast as possible pruning.

Exercise name	Repetitions	Anatomical area	Pictures		
“Yes movement”	10	Neck			
“No movement”	10	Neck			
“Maybe movement”	10	Neck			
“Shoulders roll”	10	Shoulders			
“Arms elevation”	10	Shoulders			
“Butterfly”	10	Shoulders			

<p>“Elbow flexion extension”</p>	<p>10 *2</p>	<p>Elbows</p>	
<p>“Wrist rotation”</p>	<p>10</p>	<p>Wrists</p>	
<p>“Hand clenching”</p>	<p>10</p>	<p>Fingers</p>	
<p>“Trunk rotations”</p>	<p>10</p>	<p>Trunk</p>	
<p>“Trunk inclinations”</p>	<p>10</p>	<p>Trunk</p>	
<p>“Trunk flexion/extensions”</p>	<p>10</p>	<p>Trunk</p>	
<p>“Pelvic circumduction”</p>	<p>10</p>	<p>Trunk</p>	

“Knee elevation”	10*2	Lower limb	
“Lower limb abduction”	10*2	Lower limb	
“Squats”	10	Lower limb	
“Lunges”	10	Lower limb	
“Lunges trunk rotation”	10	Lower limb / Trunk	
“Forearm extensor stretch”	2*10s	Forearm	
“Forearm flexor stretch”	2*10s	Forearm	



“Trunk lateral stretch”	2*10s	Trunk	
“Trunk axial stretch”	2*10s	Trunk / Lower limb	

Table1. List of the exercises included in the warm-up.

Outcome measures

Participants were observed thrice, before (T0), immediately after the WU (i.e. at the beginning of the working day) for the NWU (T1), and at the end of the first hour of work (T2).

Perceived pain intensity

Pain intensity was rated respectively for the last 3 months [29], at (T0), (T1), and (T2). The pain intensity for the last 3 months was collected retrospectively. Participants had to rate their pain intensity using a 0–10 numerical rating scale (NRS), where 0 was used to indicate “no pain” while 10 indicated the “worst possible pain” [26,30]. Based on the study of Kuorinka and colleagues [31], fifteen anatomical locations were asked: neck, left shoulder, right shoulder, left elbow, right elbow, upper back, lower back, left wrist/hand, right wrist/hand, left hip/thigh, right hip/thigh, left knee, right knee, left ankle/foot, right ankle/foot.

Heart Rate

Each vineyard worker was equipped with a heart rate (HR) monitor placed on the wrist [32,33]. In the present study, the monitor was a Geonaute Onmove 500. Participants could place the monitor on the arm they wanted to prevent any discomfort due to the bracelet during the working task. The HR was continuously recorded during the entire duration of the supervised warm-up. Then, during both control and experimental conditions, HR was recorded between T1 and T2. For the statistical analysis, HR data was analyzed in original units (beats per minute [bpm]). The mean value of the first minute of recording was saved for T0 [34]. For T1, the mean value of the 15 minutes of the warm-up was retained [35]. For T2, the mean value of the last 15min was calculated.

Work performance

To assess work performance, the number of grapevines pruned during one hour was recorded by a research team member.

Readiness to work

Readiness to work was rated subjectively using a 0-10 numerical rating scale, where 0 was used to indicate “not at all ready” and 10 “perfectly ready to work”. This scale was adapted from the scale of readiness to play a match, used in different team sports such as football (soccer) or handball [21,22]. Readiness to work was asked just before the beginning of the working activity.

Perceived work quality

Perceived work quality was rated subjectively by the worker using a 0-10 numerical rating scale, where 0 was used to indicate “worst performance” and 10 “best performance” [23,36,37]. This scale was used for example in a sport context, in studies with golfers, who rated their perceived shot quality [23,36]. Perceived work quality was measured at T2, just after the end of the first hour of the working day, during the two conditions.

Perceived work ability

The work ability was rated subjectively using a 0-10 numerical rating scale, where 0 was used to indicate “worst work ability ever” and 10 “best work ability ever”. This scale is a single item from the original Work Ability Index [38,39].

Time of measurement

The time of measurement for each outcome is presented in Table 2.

Outcomes	T0 Before Warm-up	T1 After Warm-up Or at the beginning of the working day for NWU	T2 T1 + 60min
Perceived pain intensity	X	X	X
Heart rate	X	X	X
Work performance			X
Readiness to work		X	
Perceived work quality			X
Perceived work ability			X

Table 2. Time of measurement for each outcome

Statistical analysis

Descriptive statistics were calculated to provide a summary of the demographic characteristics of vineyard workers. All results are presented as mean and standard deviation. Normal distribution according to the Shapiro-Wilk test was assessed. As data did not follow a normal distribution, changes caused by the warm-up intervention were assessed using Wilcoxon signed-rank test. The significance level was set at 0.05 for all statistical analyses.

Results

Participants' characteristics

Demographics	
Male	15
Female	16
Age (years)	40.1 (\pm 10.6)
<30	23%
30-39	23%
40-49	35%
50 or more	19%
Height (cm)	167.6 (\pm 8.5)
Body mass (kg)	70.8 (\pm 13.6)
BMI (kg/m²)	25.2
Seniority (years)	14.3 (\pm 10.2)

Table 3. Participants' characteristics

Pain Locations	Perceived pain intensity during the last 3 months	
	Mean \pm standard deviation	
1. Neck	0.07 \pm 0.46	
2. Left Shoulder	0.14 \pm 0.68	
3. Right Shoulder	0.26 \pm 0.95	
4. Left Elbow	0.30 \pm 1.12	
5. Right Elbow	0.30 \pm 1.12	
6. Upper Back	0.00 \pm 0.00	
7. Lower Back	1.63 \pm 2.50	
8. Left Wrist / Hand	0.45 \pm 1.22	
9. Right Wrist / Hand	0.53 \pm 1.33	
10. Left hip/thigh	0.00 \pm 0.00	
11. Right hip/thigh	0.00 \pm 0.00	
12. Left Knee	0.23 \pm 1.52	
13. Right Knee	0.09 \pm 0.61	
14. Left Ankle / Foot	0.00 \pm 0.00	
15. Right Ankle / Foot	0.00 \pm 0.00	

Table 4. Participants perceived pain intensity during the last 3 months

Participants' characteristics are presented in Table 3. Thirty-one participants volunteered to participate in this study (15 men and 16 women). Participants perceived pain intensities during the last 3 months preceding experimentation are presented in Table 4. Over the 15 anatomical locations assessed for perceived pain intensity during the last 3 months, values over 1.5 on a 10-point scale were observed for the lumbopelvic region.

Perceived pain intensity

At T0, the mean intensity was 0 for all anatomical locations except for the lumbopelvic region (0.58 \pm 1.65). Then, over the 15 anatomical locations assessed for pain intensity, significant changes were observed for the lumbopelvic region. For this anatomical location, pain intensities are presented in Figure 3. Pain intensity significantly increased in the NWU condition between T1 and T2 (0.94 \pm 2.26 vs 1.97 \pm 3.20; $p < 0.01$). In the WU condition, pain intensity did not increase between T0 and T1 (0.58 \pm 1.65 vs 0.48 \pm 1.43), but increased between T0 and T2 (0.58 \pm 1.65 vs 1.42 \pm 2.66; $p < 0.05$) and T1 and T2 (0.48 \pm 1.43 vs 1.42 \pm 2.66; $p < 0.05$) for the lumbopelvic region.

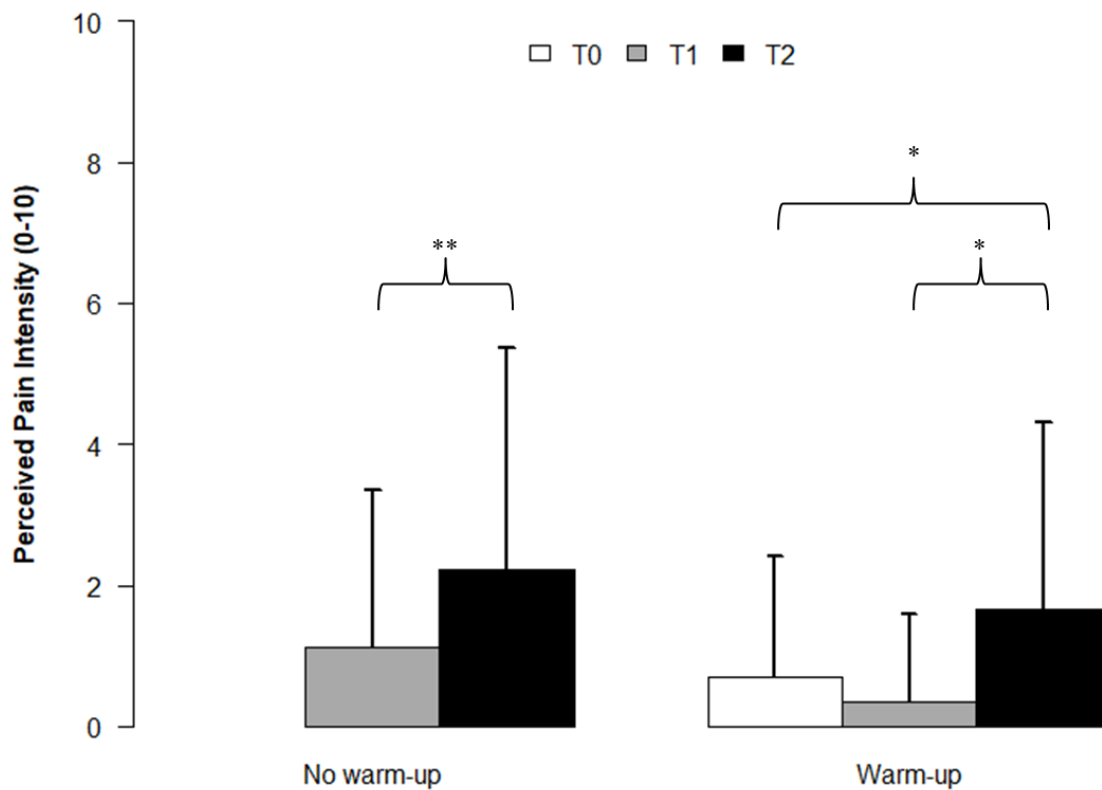


Figure 3. Perceived pain intensity over the lumbopelvic region according to the time of measurement T0, T1, T2

Heart Rate

Heart rates are presented in Figure 4. HR increased significantly during warm-up, between T0_WU and T1_WU (78.51 ± 6.75 vs 93.70 ± 11.26 ; $p < 0.001$), and the difference between T1_WU and T1_NWU (93.70 ± 11.26 vs 80.23 ± 6.81 ; $p < 0.001$) was significant. The difference between T0_WU and T1_NWU was also significant (78.51 ± 6.75 vs 80.23 ± 6.81 ; $p < 0.05$). The difference between T0_WU and T2_WU (78.51 ± 6.75 vs 94.70 ± 10.60 $p < 0.001$) and the difference between T1_NWU and T2_NWU (80.23 ± 6.81 vs 93.07 ± 13.65 $p < 0.01$) were significant.

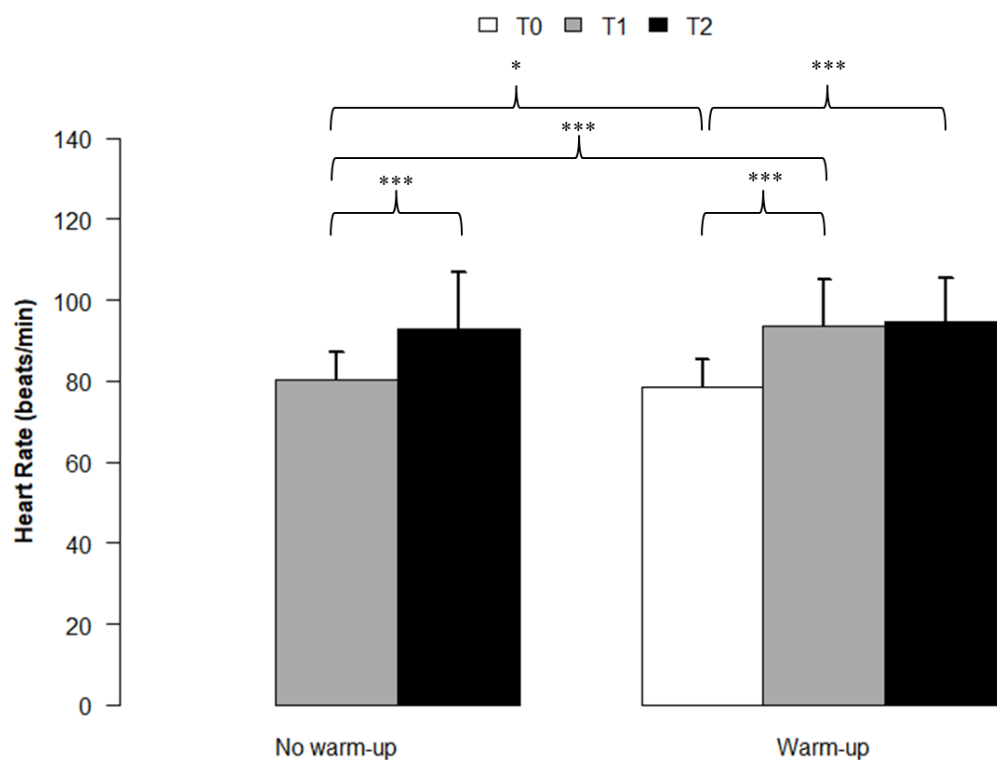


Figure 4. Heart rate in beat per minute (bpm) at T0, T1, and T2 during pruning
 * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ difference

Readiness to work

Results of the readiness to work are presented in Table 5. The mean readiness to work was significantly higher ($p < 0.01$) in the WU condition (8.55 ± 1.66 vs 7.58 ± 1.63) than in NWU.

Work performance

Results of the work performance are presented in Table 5. The mean work performance was significantly higher in the WU condition than in NWU (183.50 ± 90.71 vs 172.20 ± 87.90 pruned vines; $p < 0.05$).

Perceived work quality

Results of the perceived work quality are presented in Table 5. For the perceived work quality, the difference between the two conditions was not significant (8.31 ± 1.27 vs 8.16 ± 1.24).

Perceived work ability

Results of the perceived work ability are presented in Table 5. For the perceived work ability the difference between the two conditions was significant (8.39 ± 1.43 vs 7.71 ± 1.29 ; $p < 0.05$).

Work Performance			Readiness to Work			Perceived Work Quality			Perceived Work Ability		
WU mean (sd)	NWU mean (sd)	p-value	WU mean (sd)	NWU mean (sd)	p-value	WU mean (sd)	NWU mean (sd)	p-value	WU mean (sd)	NWU mean (sd)	p-value
183.50 (90.71)	172.20 (87.90)	0.029 *	8.55 (1.66)	7.58 (1.63)	0.007 **	8.31 (1.27)	8.16 (1.24)	0,509	8.39 (1.43)	7.71 (1.29)	0,018 *

Table 5. Readiness to work at T1, Work performance, Perceived work quality, and Perceived work ability at T2

*p<0.05, **p<0.01, the difference between the two conditions

Discussion

Over the past decade, numerous studies have examined the benefits of physical activity intervention at the workplace [40–43]. These studies provide evidence of the potential of these interventions in reducing pain intensity and musculoskeletal disorders. Such results encourage companies and scientists to design and implement new protocols to further improve workplace physical activity intervention's effectiveness. Workplace warm-up interventions offer major advantages for companies as they do not take much time (<15min) and can be performed in a standing position at the workstation, without any special equipment, and with the employees wearing their usual work clothes. However, there is a gap between the benefits observed in sports and the number of published studies that have assessed such effects at the workplace. The present study examined the effects that a worksite warm-up session performed by 31 vineyard workers produced on perceived pain intensity, heart rate, work performance, readiness to work, and perceived work ability during the first hour of pruning.

Our results showed that pruning activity performed by vineyard workers increased heart rate over the first hour of work. In the NWU condition, heart rate significantly increased by approximately 10% (80.23 ± 6.81 at T1_NWU vs 93.07 ± 13.65 at T2_NWU; $p < 0.001$). We can hypothesize this cardiovascular change is more specifically an increase in muscle blood flow and muscle oxygen consumption, i.e. an increase in energy metabolism [20]. Interestingly, the 15 minutes warm-up intervention allows vineyard workers to reach the same heart-rate value as the mean value over the first hour of pruning (93.70 ± 11.26 at T0_WU vs 94.70 ± 10.60 at T2_WU). Some studies have reported that the improvement of oxidative energy metabolism, i.e. increasing muscle blood flow by vasodilation, could improve performance [4–6]. In this study, such a conclusion is further supported by the significant increase in the number of vines pruned between the NWU and WU conditions: vineyard workers pruned 11.3 more vines in one hour (183.50 ± 90.71 vs 172.20 ± 87.90) after the 15-minute warm-up session than without the warm-up, which corresponds to a 6.6% increase in work performance. A rapid calculation shows that without warm-up, vineyard workers pruned approximately 43 vines (versus 46 with the warm-up) every 15 minutes. Keeping in mind that the effectiveness of workplace physical activity interventions increases when interventions are planned during working hours [44,45], our results suggest that after one hour of pruning following warm-up, $\frac{1}{4}$ of the time needed to perform warm-up was recovered. Therefore, further investigations are needed to confirm, as put forward by our results, that the time

needed to perform exercises may have no impact on productivity after 4 hours of work. On the one hand, this difference regarding work performance may stem from the capacity of the warm-up session to prepare the oxidative energy metabolism for the work activity. On the other hand, this difference may also be explained by a biomechanical phenomenon often described in sports, i.e. a decrease in the passive resistance of joints and muscles induced by the warm-up session. This potential decrease in passive resistance of joints and muscles could also be related to the higher work ability reported in the warm-up condition (8.39 ± 1.43 vs 7.71 ± 1.29 ; $p < 0.05$). Further studies on workplace warm-up intervention are therefore needed to assess the effects on muscle stiffness using specific tests such as the “back scratch test” for shoulder flexibility [46] or the “finger to floor test” for back and hamstrings flexibility [47]. These results could also be related to positive effects observed for readiness to work. Interestingly, the readiness to work was higher (i.e. better) in the warm-up condition (8.55 ± 1.66 vs 7.58 ± 1.63 $p < 0.01$) which means workers seemed to feel more confident and more comfortable beginning the working activity after a WU.

Increased productivity, i.e. in this case increased work performance, and suggests that the duration of the warm-up was appropriate [20]. In a review published in 2003 in which the effects of warm-ups on sports’ performance were reported [20], Bishop pinpointed that the warm-up session should be of sufficient duration to maximize performance. In cases where the activity is to be carried on over several hours, the warm-up should last at least 10 minutes to enhance performance [20]. That duration was applied in the few studies which assessed the effects of a warm-up intervention at the workplace [9,16]. However, in her review of 2015[1] on warm-up strategies for sports, McGowan recommended a 15-minute warm-up at an intensity of 60-70% VO₂max, to improve the range of motion (ROM). The warm-up duration applied for this study was therefore longer than the ones used in other occupational settings but seems more in line with sports recommendations [1,20]. Bishop [20,48] and Woods et al[7] also highlighted that the optimal warm-up intensity seemed to be 60% VO₂ max (maximal oxygen consumption). Such intensity could maximize the benefits on performance while causing minimal fatigue (i.e. minimal decrease in muscle glycogen) [20]. VO₂ was not evaluated directly in this study due to the complexity of the required set-up in a workplace context. However, VO₂ max and heart rate are linked, as suggested by Karvonen [48–50]. In the present study, the heart rate increase induced by the warm-up did not seem sufficient to reach a level close to 60% VO₂ max. Nevertheless, this WU intervention seemed to increase the heart rate to a level similar to the one reached during the work task. The warm-up

intervention could therefore be considered suitable for the working activity in terms of intensity [20].

Secondly, our results suggest that, despite increasing productivity, a WU session does not increase participants' pain perceived intensity more than after one hour of pruning without warm-up. Of note, during both conditions (NWU, WU) and over the lumbopelvic region, one hour of pruning activity significantly increased pain intensity by one point to reach similar levels (WU: 1.42 ± 2.66 ; NWU: 1.97 ± 3.20 , $p > 0.05$). What is surprising in this result is that a reduction in pain intensity was expected during the WU condition. On the one hand, this result may be explained by the characteristics of the vineyard workers. In this study, pain intensity reported by the participants over the last 3 months was low (< 1 on a 0-10 scale). Bayattork and colleagues [51] defined such pain intensity as "no or little pain". With an average age of $40.9 (\pm 10.4)$ years, the vineyard workers who participated in this study can be considered relatively young compared to another reference cross-sectional study implemented among vineyard workers [27]. For example, 23% of the vineyard workers in our study were < 30 while this age group represents 12.5% in the study of Bernard and colleagues [27]. On the other hand, the increase in pain intensity during the first hour following the WU may also be explained by work performance. Higher work performance leads to an increase in the exposition to biomechanical risk factors of pain such as repetitiveness or awkward postures.

Finally, regarding perceived work quality, no significant differences were observed between the two conditions (8.31 ± 1.27 in WU vs 8.16 ± 1.24 in NWU). This result suggests that the increased productivity in the WU condition did not lead to a reduction in work quality during one hour of pruning. Nevertheless, such a result should be taken with caution since work quality was assessed using self-reporting scales. As work quality is part of the vineyard workers' assessment and is directly related to their wages, they are unwilling to lower their self-reported work quality rating [23]. To analyze work quality more objectively, a supervisor should be asked to assess the vineyard workers' work quality. In a workplace context, assessors are often asked to make a judgment on a rating scale about the quality of the work they evaluate [52]. It seems important not to underestimate the environmental risk factor as tasks related to vine growing are processed outside, which means that the weather or the terrain can have an impact on perceived work quality [53]. Furthermore, as the level of work quality in the NWU condition was high (8.16 ± 1.24), the possibility of being positively affected by the WU was reduced, particularly due to a potential ceiling effect.

Strengths

The design of this study can be considered a strength. Indeed, randomized cross-over design (1) eliminates between-subject variability [54], (2) is appropriate when the effects of treatment are short-lived and reversible [54], and (3) is also best suited to trials related to chronic conditions or diseases [54]. Participants completed their usual work, subject to common adverse events in that sector (weather, work organization, tool failure) [53] which increased external validity. Qualified trainers supervised the WU for all participants. Strong indications of higher effectiveness of supervised vs unsupervised training have been reported by Coury and colleagues [42]. Moreover, Dalager and colleagues [55] highlighted the role of supervision in maintaining participants in a physical activity program. This point is particularly relevant in the case of warm-up interventions, for which dropout rates are close to 20% [9,10] in studies without trainer supervision.

Limitations

The major limitation of this study is related to the fact that its results are based on the implementation of a single warm-up session, which limits the possibility of examining long-term effects at 6 or 12 months. Interestingly, warm-up interventions implemented at the workplace usually last from 6 to 12 weeks [9–11,16], whereas in the sport context it is common to evaluate the immediate effects of warm-ups. It is important to note that this study could be considered a pilot study as it was the first one assessing WU effects in the workplace among vineyard workers. Another limitation is the use of subjective outcomes, as participants were asked to rate pain intensity, readiness to work, work ability, and work quality on a 0-10 scale. However, such outcomes are often used in the workplace context, where they are considered practical and reliable [56].

Implications for practice

Warm-up sessions at the workplace showed promising results for vineyard workers. In this study, a warm-up performed before work led to higher work performance without an increase in perceived pain intensity. These findings can be considered an encouraging starting point to implement such interventions in wine companies.

Implications for future research

To identify the effects on perceived pain intensity, future studies on supervised workplace warm-ups should focus on workers who experience pain. In a case of a sample with moderate to high pain levels at baseline, the implemented warm-up should be more focused on pain

symptoms (i.e. stretching exercises) [57,58]. Furthermore, pain among vineyard workers is related to the cumulative load and the repetitiveness of the tasks. Observing an increase in perceived pain intensity during the entire working day is likely. Thus, a difference in perceived pain intensity between NWU and WU conditions could be more important after several hours of work. In this study, the warm-up led to an increase in HR to a level similar to the one reached during the work activity. However, it was a level far lower than the literature recommendations regarding warm-up intensity. Future research should implement a more intensive warm-up intervention. It would be interesting in future studies to explore physiological outcomes more precisely to confirm whether or not such warm-ups can prepare the metabolic and cardiovascular systems for the working day. Efforts should be made in a potential future study to assess more objective outcomes for pain as well as physical and psychological capacities. From this perspective, pressure algometry could be an interesting tool to assess musculoskeletal pain in a semi-objective way [59]. This method is commonly used by clinicians and researchers to assess pain sensitivity as an outcome of physical activity [17,60]. Nevertheless, pressure pain threshold assessment could be difficult to set up in a workplace context, particularly in the agricultural sector. As these results are promising concerning work performance, perceived pain intensity, and work ability for the first hour of pruning, it should be interesting to assess if these effects last during an entire working day.

Conclusion

This study has demonstrated that offering vineyard workers a supervised warm-up session leads to promising results on work performance and psychological perception. Future research should implement such interventions on a more representative sample of vineyard workers regarding pain levels.

References

- [1] McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, et al. Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports Med.* 2015;45:1523–1546.
- [2] McCrary JM, Ackermann BJ, Halaki M. A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br J Sports Med.* 2015;49:935–942.
- [3] Iwata M, Yamamoto A, Matsuo S, et al. Dynamic Stretching Has Sustained Effects on Range of Motion and Passive Stiffness of the Hamstring Muscles. *J Sports Sci Med.* 2019;18:13–20.
- [4] Brunner-Ziegler S, Strasser B, Haber P. Comparison of metabolic and biomechanic responses to active vs. passive warm-up procedures before physical exercise. *J Strength Cond Res.* 2011;25:909–914.
- [5] Shellock FG. Physiological Benefits of Warm-Up. *Phys Sportsmed.* 1983;11:134–139.
- [6] Bishop D. Warm Up I. *Sports Med.* 2003;33:439–454.
- [7] Woods K, Bishop P, Jones E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med Auckl NZ.* 2007;37:1089–1099.
- [8] Balaguier R, Madeleine P, Rose-Dulcina K, et al. Effects of a Worksite Supervised Adapted Physical Activity Program on Trunk Muscle Endurance, Flexibility, and Pain Sensitivity Among Vineyard Workers. *J Agromedicine.* 2017;22:200–214.
- [9] Holmström E, Ahlborg B. Morning warming-up exercise--effects on musculoskeletal fitness in construction workers. *Appl Ergon.* 2005;36:513–519.
- [10] Gartley RM, Prosser JL. Stretching to prevent musculoskeletal injuries. An approach to workplace wellness. *AAOHN J Off J Am Assoc Occup Health Nurses.* 2011;59:247–252.
- [11] Aje OO, Smith-Campbell B, Bett C. Preventing Musculoskeletal Disorders in Factory Workers: Evaluating a New Eight Minute Stretching Program. *Workplace Health Saf.* 2018;66:343–347.
- [12] Meyers JM, Faucett J, Tejada DG, et al. High Risk Tasks for Musculoskeletal Disorders in Agricultural Field Work. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet.* 2000;44:616–619.
- [13] Roquelaure Y, Dano C, Dusolier G, et al. Biomechanical strains on the hand-wrist system during grapevine pruning. *Int Arch Occup Environ Health.* 2002;75:591–595.
- [14] Balaguier R, Madeleine P, Rose-Dulcina K, et al. Trunk kinematics and low back pain during pruning among vineyard workers-A field study at the Chateau Larose-Trintaudon. *PloS One.* 2017;12:e0175126.
- [15] Larinier N, Balaguier R, Vuillermé N. How much do we know about the effectiveness of warm-up intervention on work related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions: protocol for a systematic review. *BMJ Open.* 2020;10.
- [16] DiStefano LJ, Marshall SW, Padua DA, et al. The Effects of an Injury Prevention Program on Landing Biomechanics Over Time. *Am J Sports Med.* 2016;44:767–776.
- [17] Andersen CH, Andersen LL, Zebis MK, et al. Effect of Scapular Function Training on Chronic Pain in the Neck/Shoulder Region: A Randomized Controlled Trial. *J Occup Rehabil.* 2014;24:316–324.
- [18] Gordon R, Bloxham S. A Systematic Review of the Effects of Exercise and Physical Activity on Non-Specific Chronic Low Back Pain. *Healthcare.* 2016;4.
- [19] Sjøgaard K, Sjøgaard G. Physical Activity as Cause and Cure of Muscular Pain: Evidence of Underlying Mechanisms. *Exerc Sport Sci Rev.* 2017;45:136–145.
- [20] Bishop D. Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med Auckl NZ.* 2003;33:483–498.
- [21] Romarateabala E, Nakamura FY, Castillo D, et al. Influence of warm-up duration on physical performance and psychological perceptions in handball players. *Res Sports Med Print.* 2018;26:230–243.
- [22] Yanci J, Iturri J, Castillo D, et al. Influence of warm-up duration on perceived exertion and subsequent physical performance of soccer players. *Biol Sport.* 2019;36:125–131.
- [23] Coughlan D, Taylor MJ, Jackson J. THE IMPACT OF WARM-UP ON YOUTH GOLFER CLUBHEAD SPEED AND SELF-REPORTED SHOT QUALITY. *Int J Sports Phys Ther.* 2018;13:828–834.

- [24] Kowalsky RJ, Perdomo SJ, Taormina JM, et al. Effect of Using a Sit-Stand Desk on Ratings of Discomfort, Fatigue, and Sleepiness Across a Simulated Workday in Overweight and Obese Adults. *J Phys Act Health*. 2018;15:788–794.
- [25] Matsuo S, Iwata M, Miyazaki M, et al. Changes in Flexibility and Force are not Different after Static Versus Dynamic Stretching. *Sports Med Int Open*. 2019;3:E89–E95.
- [26] Cho Y-T, Hsu W-Y, Lin L-F, et al. Kinesio taping reduces elbow pain during resisted wrist extension in patients with chronic lateral epicondylitis: a randomized, double-blinded, cross-over study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19:193.
- [27] Bernard C, Courouve L, Bouée S, et al. Biomechanical and psychosocial work exposures and musculoskeletal symptoms among vineyard workers. *J Occup Health*. 2011;53:297–311.
- [28] Meyers JM, Miles JA, Faucett J, et al. Priority risk factors for back injury in agricultural field work: vineyard ergonomics. *J Agromedicine*. 2004;9:433–448.
- [29] Descatha A, Roquelaure Y, Chastang JF, et al. Validity of Nordic-style questionnaires in the surveillance of upper-limb work-related musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health*. 2007;33:58–65.
- [30] Calatayud J, Escriche-Escuder A, Cruz-Montecinos C, et al. Tolerability and Muscle Activity of Core Muscle Exercises in Chronic Low-back Pain. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16.
- [31] Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon*. 1987;18:233–237.
- [32] Gillinov S, Etiwy M, Wang R, et al. Variable Accuracy of Wearable Heart Rate Monitors during Aerobic Exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2017;49:1697–1703.
- [33] Wang R, Blackburn G, Desai M, et al. Accuracy of Wrist-Worn Heart Rate Monitors. *JAMA Cardiol*. 2017;2:104–106.
- [34] Neiva HP, Marques MC, Barbosa TM, et al. Warm-up and performance in competitive swimming. *Sports Med Auckl NZ*. 2014;44:319–330.
- [35] Faigenbaum AD, Bellucci M, Bernieri A, et al. Acute effects of different warm-up protocols on fitness performance in children. *J Strength Cond Res*. 2005;19:376–381.
- [36] Smith AC, Roberts JR, Kong PW, et al. Comparison of centre of gravity and centre of pressure patterns in the golf swing. *Eur J Sport Sci*. 2017;17:168–178.
- [37] Kessler RC, Barber C, Beck A, et al. The World Health Organization Health and Work Performance Questionnaire (HPQ): *J Occup Environ Med*. 2003;45:156–174.
- [38] Lidegaard M, Sjøgaard K, Krstrup P, et al. Effects of 12 months aerobic exercise intervention on work ability, need for recovery, productivity and rating of exertion among cleaners: a worksite RCT. *Int Arch Occup Environ Health*. 2018;91:225–235.
- [39] Chang Y-F, Yeh C-M, Huang S-L, et al. Work Ability and Quality of Life in Patients with Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17.
- [40] Sundstrup E, Seeberg KGV, Bengtzen E, et al. A Systematic Review of Workplace Interventions to Rehabilitate Musculoskeletal Disorders Among Employees with Physical Demanding Work. *J Occup Rehabil*. 2020;
- [41] Moreira-Silva I, Teixeira PM, Santos R, et al. The Effects of Workplace Physical Activity Programs on Musculoskeletal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Workplace Health Saf*. 2016;64:210–222.
- [42] Coury HJCG, Moreira R de FC, Dias NB. Evaluation of the effectiveness of workplace exercise in controlling neck, shoulder and low back pain: a systematic review Efetividade do exercício físico em ambiente ocupacional para controle da dor cervical, lombar e do ombro: uma revisão sistemática. 2009.
- [43] Bordado Sköld M, Bayattork M, Andersen LL, et al. Psychosocial effects of workplace exercise - A systematic review. *Scand J Work Environ Health*. 2019;45:533–545.
- [44] Jakobsen MD, Sundstrup E, Brandt M, et al. Effect of workplace- versus home-based physical exercise on musculoskeletal pain among healthcare workers: a cluster randomized controlled trial. *Scand J Work Environ Health*. 2015;41:153–163.
- [45] Andersen LL, Zebis MK. Process evaluation of workplace interventions with physical exercise to reduce musculoskeletal disorders. *Int J Rheumatol*. 2014;2014:761363.

- [46] del Pozo-Cruz B, Gusi N, Adsuar JC, et al. Musculoskeletal fitness and health-related quality of life characteristics among sedentary office workers affected by sub-acute, non-specific low back pain: a cross-sectional study. *Physiotherapy*. 2013;99:194–200.
- [47] Perret C, Poiraudreau S, Fermanian J, et al. Validity, reliability, and responsiveness of the fingertip-to-floor test. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82:1566–1570.
- [48] Swain DP, Leutholtz BC. Heart rate reserve is equivalent to %VO₂ Reserve, not to %VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29:410–414.
- [49] Karvonen J, Vuorimaa T. Heart Rate and Exercise Intensity During Sports Activities. *Sports Med*. 1988;5:303–311.
- [50] Swain DP, Leutholtz BC, King ME, et al. Relationship between % heart rate reserve and %VO₂reserve in treadmill exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30:318–321.
- [51] Bayattork M, Jakobsen MD, Sundstrup E, et al. Musculoskeletal pain in multiple body sites and work ability in the general working population: cross-sectional study among 10,000 wage earners. *Scand J Pain*. 2019;19:131–137.
- [52] Norcini JJ, Zaidi Z. Workplace Assessment. *Underst Med Educ* [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2018. p. 319–334.
- [53] Grimbuhler S, Viel J-F. Physiological Strain in French Vineyard Workers Wearing Protective Equipment to Conduct Re-Entry Tasks in Humid Conditions. *Ann Work Expo Health*. 2018;62:1040–1046.
- [54] Mills EJ, Chan A-W, Wu P, et al. Design, analysis, and presentation of crossover trials. *Trials*. 2009;10:27.
- [55] Dalager T, Bredahl TGV, Pedersen MT, et al. Does training frequency and supervision affect compliance, performance and muscular health? A cluster randomized controlled trial. *Man Ther*. 2015;20:657–665.
- [56] Luger T, Maher CG, Rieger MA, et al. Work-break schedules for preventing musculoskeletal symptoms and disorders in healthy workers. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;7:CD012886.
- [57] da Costa BR, Vieira ER. Stretching to reduce work-related musculoskeletal disorders: a systematic review. *J Rehabil Med*. 2008;40:321–328.
- [58] Gasibat Q, Simbak NB, Aziz AA. Stretching Exercises to Prevent Work-related Musculoskeletal Disorders. *Am J Sports Sci Med*. 2017;5:27–37.
- [59] Binderup AT, Arendt-Nielsen L, Madeleine P. Pressure pain sensitivity maps of the neck-shoulder and the low back regions in men and women. *BMC Musculoskelet Disord*. 2010;11:234.
- [60] Arendt-Nielsen L, Yarnitsky D. Experimental and clinical applications of quantitative sensory testing applied to skin, muscles and viscera. *J Pain Off J Am Pain Soc*. 2009;10:556–572.

3.1.1. Résultats de la contribution 3

3.1.1.1. Effet sur la douleur

La douleur est le premier symptôme associé aux TMS et est responsable de la perte de fonction et d'une diminution de la qualité de vie. Premièrement, concernant la douleur dans la contribution 3, l'échantillon de 31 salariés viticoles ne déclare que très peu de douleurs au cours des 3 derniers mois. Toutes les localisations interrogées atteignent une intensité de douleur moyenne proche de 0 sur une échelle de 0 à 10. Seule la région lombaire se rapproche d'une intensité de 2 sur 10, décrite comme une faible douleur par Bayattork et coll. (Bayattork et al., 2019).

Deuxièmement, la douleur augmente avec le travail. En effet, la douleur est significativement plus élevée après une heure de travail qu'avant de commencer l'activité. Il est intéressant de noter qu'il n'y a pas de différence statistique entre la modalité échauffement et la modalité sans échauffement, donc que la douleur augmente avec le travail dans les deux conditions.

3.1.1.2. Effet sur la performance au travail

Dans cette étude, il y a une augmentation significative du nombre de pieds de vigne taillés entre les conditions NWU et WU. En effet, les vigneron ont taillé 11,3 pieds de vignes en plus en une heure ($183,50 \pm 90,71$ contre $172,20 \pm 87,90$) après les 15 minutes d'échauffement, ce qui correspond à une augmentation de 6,6 %.

Les vigneron ont ainsi taillé environ 43 pieds de vigne sans échauffement et 46 avec un échauffement toutes les 15 minutes. Au bout d'une heure de travail, les vigneron ont ainsi récupéré $\frac{1}{4}$ du temps nécessaire à la réalisation de l'échauffement. Nous pouvons ainsi émettre l'hypothèse qu'au bout de 4h de travail, les vigneron ont récupéré l'intégralité des 15 minutes nécessaires à la réalisation de l'échauffement. Cet élément a son importance car les études scientifiques ont montré que les interventions en activité physique réalisées sur le lieu de travail sont plus efficaces lorsqu'elles sont réalisées sur le temps de travail.

3.1.1.3. Effet sur la fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque augmente avec l'échauffement mais pas suffisamment pour atteindre les recommandations issues du milieu sportif. En effet, la FC passe de $78,51 \pm 6,75$ à $93,70 \pm 11,26$; $p < 0,001$, ce qui correspond à une hausse de 19,3 %. La formule de Gellish et coll. (Gellish et al., 2007) est utilisé pour calculer la fréquence maximale théorique (FCMThéorique) de cet échantillon, avec un âge moyen de 40 ans:

$$207 - 0,7 * 40 = 179$$

La FCMThéorique de cet échantillon de 31 ouvriers viticoles est donc de 179 battements par minute. La FC atteinte après échauffement correspond ainsi à 52% de la FCMThéorique, ce qui la situe légèrement en dessous du seuil minimal recommandé pour observer un effet positif de l'échauffement en sport.

Cependant, l'échauffement permet tout de même d'augmenter la fréquence cardiaque au niveau de la fréquence atteinte pendant l'activité de travail ($93,70 \pm 11,26$ après échauffement vs $94,70 \pm 10,60$ pendant le travail). Il semble ainsi que l'échauffement hybride réalisé dans cette étude soit adapté à l'activité de taille car cette augmentation de la FC s'accompagne également d'une augmentation de la performance.

3.1.1.4. Effet sur les perceptions

Chang et coll. (Chang et al., 2020) définissent l'habilité au travail comme un concept mêlant employabilité et bien-être, couvrant non seulement des capacités objectives et mesurables mais aussi des aspects relatifs à l'éducation, le savoir, les compétences, l'expérience, les capacités fonctionnelles, les demandes professionnelles et la motivation. Dans la Contribution 3, les vigneronns ont une meilleure habileté de travail perçue après un échauffement ($8,39 \pm 1,43$ vs $7,71 \pm 1,29$; $p < 0,05$). Ce résultat est intéressant dans la mesure où plusieurs études ont montré le lien entre habilité au travail et la qualité de vie (Chiu et al., 2007; Milosevic et al., 2011). Dans plusieurs études s'intéressant au secteur agricole, les travailleurs ont une habilité au travail perçue plus faible que dans d'autres secteurs (Karttunen and Rautiainen, 2009; Lertvarayut, 2022). Le sentiment d'être prêt à commencer le travail était meilleur dans la modalité échauffement (8.55 ± 1.66 vs 7.58 ± 1.63 $p < 0.01$) illustrant un effet psychologique positif de l'échauffement.

3.1.1.5. Limites

Les résultats de cette étude sont basés sur une unique session d'échauffement, ce qui limite la possibilité de généraliser les résultats et de statuer sur un effet des échauffements sur les TMS. Dans la Contribution 3, la plupart des variables sont subjectives, ce qui peut surestimer l'effet de l'intervention. Les participants peuvent avoir tendance à répondre aux questions en faveur de l'intervention si cela confirme une croyance (e.g. l'échauffement est bon pour la santé) ou pour faire plaisir à l'examineur.

3.1.1.6. Perspectives

De futures études devront comparer les différentes modalités identifiées dans la revue de littérature (1) pour évaluer si elles ont toutes des effets positifs sur des variables associées aux TMS et (2) pour identifier la modalité la plus efficace.

3.2. Explorer les effets immédiats d'une session d'échauffement sur la douleur, les capacités physiques et la productivité en agriculture : protocole d'étude

Contribution 4 : *Larinier, N., Vuillerme, N., Jadaud, A., Malherbe, S., & Balaguier, R. (2022). Exploring acute effects of workplace warm-up intervention on pain, physical capacities, and productivity in agriculture:-A study protocol. Work, (Preprint), 1-16.*

La Contribution 4 est à retrouver en annexe à la page 252.

Résumé :

Les programmes d'activité physique sur le lieu de travail ont montré leur efficacité sur les capacités physiques et la douleur depuis plusieurs années. En raison de la durée des séances ou du besoin d'une supervision par un intervenant, ces programmes sont plutôt difficiles à mettre en œuvre. C'est pour cette raison que de nombreuses entreprises, en particulier dans les secteurs manuels, se tournent vers une autre solution : l'échauffement avant de commencer le travail. Ces interventions présentent différents avantages tels que la courte durée et la possibilité d'effectuer les exercices en tenue de travail. Étonnamment, alors que les effets positifs des interventions d'échauffement sur la douleur, la performance et les capacités physiques et psychologiques sont largement rapportés dans le contexte sportif, les effets de l'intervention d'échauffement sur le lieu de travail font défaut.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets à court terme de trois modalités d'échauffement différentes sur les fonctions physiques (douleur, force, flexibilité) et psychologiques (charge de travail) ainsi que sur des variables liées au travail (rendement, sentiment d'être prêt à commencer le travail) chez des ouvriers viticoles.

Une étude randomisée en grappes sera mise en œuvre auprès de 120 ouvriers viticoles français. Quatre groupes de 30 participants seront constitués, ce qui correspond à quatre conditions différentes : (1) modalité d'échauffement hybride; (2) modalité d'échauffement dynamique; (3) modalité d'échauffement à base d'étirement; (4) aucune intervention d'échauffement ou groupe contrôle. Au total, 120 vignerons seront recrutés pour participer à l'étude. Les résultats fourniront davantage de données sur les effets à court terme des interventions à base d'échauffement sur le lieu de travail et ainsi que sur la modalité d'échauffement la plus efficace sur la douleur, le rendement et les capacités physiques et psychologiques chez des ouvriers viticoles.

3.3. Effets immédiats d'une session d'échauffement sur la douleur, la productivité et les capacités physiques chez des salariés viticoles : Etude randomisée contrôlée en grappes

Contribution 5 :

Acute effects of a warm-up intervention on pain, productivity and physical capacities in agriculture: a cluster randomized trial

Résumé :

L'agriculture est l'un des secteurs les plus concernés par les troubles musculo-squelettiques (TMS). Les travailleurs sont exposés à des facteurs de risque biomécaniques comme des positions inconfortables maintenues, la répétition des gestes et le transport de charges lourdes. Les programmes d'activité physique sur le lieu de travail sont l'une des solutions les plus prometteuses pour prévenir les conséquences néfastes des TMS, comme la douleur ou l'altération des capacités physiques. Malgré l'intérêt croissant pour la mise en œuvre des sessions de réchauffement avant la journée de travail, les preuves de leur efficacité sont encore rares.

Les objectifs de cette étude étaient doubles : (1) étudier l'effet aigu d'une session d'échauffement de 15 minutes sur la douleur, la performance au travail, la fréquence cardiaque, les capacités visuo-motrices, les capacités physiques et les perceptions des vignerons ; (2) déterminer la modalité d'échauffement la plus bénéfique pour les vignerons entre les modalités « HYBRIDE », « STRETCHING » et « DYNAMIQUE ».

Une étude randomisée en grappes a été mise en œuvre auprès d'ouvriers viticoles français. Une seule session d'échauffement de 15 minutes a été mise en œuvre. Le calcul de la taille de l'échantillon, en utilisant un risque alpha de 0,05 et un risque bêta de 0,20, a mis en évidence le besoin de 25 sujets par groupe. Compte tenu d'une perte de suivi estimée à 15 %, nous avons cherché à recruter 30 sujets pour chaque groupe, pour un total de 120 personnes. Finalement, 92 participants, issus de 10 propriétés viticoles différentes et répartis en 4 groupes (3 interventions et 1 contrôle), ont été inclus dans l'analyse.

La douleur augmente avec le travail, quelle que soit la modalité d'échauffement. La performance au travail était significativement plus élevée dans la modalité dynamique par rapport au groupe contrôle. La fréquence cardiaque augmente dans les trois modalités d'échauffement pendant la réalisation des exercices mais elle augmente de manière plus

importante dans la modalité dynamique. Le sentiment d'être prêt à commencer le travail était significativement meilleur dans les modalités Hybride et Dynamique par rapport au groupe contrôle, la charge de travail perçue significativement plus faible dans le groupe Dynamique et la qualité de travail plus élevée dans la modalité Stretching. Enfin, les résultats au test visuo-moteur semblent indiquer une fatigue cognitive induite par les 3h de travail avec ou sans échauffement.

Abstract

Purpose: Agriculture is one of the sectors that are the most concerned by musculoskeletal disorders (MSDs). Workplace physical activity programs are one of the most promising solutions to prevent adverse consequences of MSDs such as pain or impairment in physical capacities. Despite the growing interest to the implementation of warming-up sessions before the working day, the available evidence of their effectiveness is still scarce. The aims of this study were twofold: (1) to investigate the acute effect of a warm-up session on pain, work performance, and physical and psychosocial capacities among vineyard workers; (2) to determine the most beneficial warm-up modality for vineyard workers.

Methods: A cluster randomized study was implemented among French vineyard workers. A 15min single session of warm-up was implemented among four groups corresponding to four different conditions: (1) hybrid warm-up intervention (HWU); (2) dynamic warm-up intervention (DWU); (3) stretching warm-up intervention (SWU); (4) no warm-up intervention (CONTROL). A total of 92 vineyard workers were included in the analysis.

Results: DWU showed significant increased performance ($p<0.05$), increased heart rate ($p<0.001$), better readiness to work ($p<0.05$) and lower workload ($p<0.05$) than the CONTROL. HWU showed a better readiness to work ($p<0.01$). SWU showed better work quality ($p<0.05$). However, the three different warm-up protocols did significantly not differ from the CONTROL group in terms of perceived pain intensity, and physical capacities.

Conclusion: The present findings confirm some beneficial acute effects on performance, heart rate and perceptions of a single warm-up session performed before pruning. The DWU seems to be the most beneficial warm-up modality.

Trial registration: NCT05425693. Registered 06/16/2022 in ClinicalTrials.gov

Key-words

Exercise / Musculoskeletal Disorders / Work Performance / Vineyard Workers

Introduction

Agriculture is recognized as one of the sectors that are the most concerned by musculoskeletal disorders (MSDs) worldwide and particularly in France [1,2]. Agricultural workers are physically active for a large part of their working days and are therefore commonly exposed to physical risk factors such as sustained and frequent awkward postures, repetitiveness, and carrying heavy loads [1]. This is now well established that these working conditions have negative consequences for both companies [3] and workers [4]. For instance, MSDs may result in pain, impairment, or decreased work performance [5,6]. To address the burden of MSDs, companies from the agricultural sector, but also companies in other sectors (construction, industry, healthcare services), are continuously looking for preventive solutions. Workplace prevention policies frequently include ergonomics [7,8], multifaceted interventions, and for some years physical activity programs [9–12]. In line with this, there has been a greater focus in research on assessing and documenting the effects of these policies. Interestingly, the systematic review of Sundstrup and colleagues [13] published in 2020, including 54 studies among 14486 workers with physically demanding work, has identified physical activity programs performed at the workplace as one of the most promising solution to prevent adverse consequences of MSDs such as pain, impairment or a decrease in physical capacities. Effects are heightened for strengthening and stretching workplace programs [9–16] especially among workers exposed to physically demanding works [17]. The effectiveness of workplace physical activity programs is a constant challenge and is based on the active participation and involvement of both workers and companies [18]. For instance, supervision during exercises, proximity between the workstation and the exercises places, practicing exercises during working hours are key factors of successful programs [18]. Additionally, at a time when companies are facing significant economic constraints, the cost of these programs represents one of the most important factors to convince the stakeholders. Workplace warm-up interventions are a modality of workplace exercises which tackle many of these facilitating factors. Warm-up exercises are usually simple to achieve, are performed in 10-15min, and do not require any props or specific clothes. In addition, warm-up interventions are easy to implement as sessions can be realized in working groups directly at the workstation and just before the start of the working day. Warm-up interventions can be defined as ‘protocols specifically undertaken to prepare the onset of subsequent physical activity’, e.g. a working activity [19]. A grey literature search strategy from the advanced search platform for Google ([https:// www.google.es/advanced_search](https://www.google.es/advanced_search)) using a combination of

key concepts (warm-up, pre-shift, workplace) demonstrates the growing interest of companies for these interventions (7.4 M of results). Companies assumed positive effects observed in sports could be transferred to their workplaces. However, there is a considerable difference between the number and the quality of studies assessing the warm-up effect in sports and at the workplace. While numerous systematic reviews concerning warm-up intervention effects have been published in sports [19–21], studies performed in a workplace context are scarce. To our knowledge, there is only one systematic review summarizing the effects of workplace warm-up interventions on workers' health [22]. Interestingly, this review highlights that three warm-up modalities are commonly implemented at the workplace [23–25]. The first modality called “hybrid” includes dynamic and stretching exercises and was first implemented among construction workers in Sweden [23]. The second modality is defined as “stretching” offering only stretching exercises to employees (e.g. US manual workers [24]). The “dynamic” modality is considered as the third modality, includes only dynamic exercises and was implemented among US military recruits [25]. None of the studies included in the systematic review of Larinier et al [22] has implemented a warm-up intervention in agriculture. In 2023, our research team has published a cross-over study [26] where an hybrid warm-up intervention has been implemented among 31 vineyard workers. A single hybrid warm-up session had an immediate effect on readiness to work and on work performance during the first hour of work [26]. The promising cross-over study results led us to implement the two other warm-up modalities reported in the systematic review, the dynamic warm-up and the stretching warm-up [22,26]

Based on the need to bridge the gap between research and practice, the aims of this study were twofold: (1) to investigate the acute effect of a warm-up session on outcomes frequently affected by MSDs such as pain, work performance, and physical and psychosocial capacities among vineyard workers; (2) to determine the warm-up modality the most beneficial to vineyard workers.

Methods

Protocol study

A protocol study was published in 2022 [27].

Study design

This study was a 4-armed, parallel groups, single-blinded, cluster randomized controlled trial. Participants were vineyard workers recruited from multiple vineyard companies located

around Bordeaux (France) from January 2022 to January 2023. The organization of the vineyard companies, with workers split into small working teams was the reason for choosing a cluster design. Clusters were defined as working teams for practical reasons [28]. The cluster randomization was also chosen to prevent selection bias, by preference of patient or research member.

Sample size

The sample size calculation, using an alpha risk of 0.05 and a beta risk of 0.20 highlighted a need for 25 subjects per group. Given an estimated follow-up loss of 15%, we aimed to recruit 30 subjects for each group. The study totalized four groups corresponding to four different conditions: a total of 120 vineyard workers were randomized to participate in the study.

Inclusion criteria

Participants who met all inclusion criteria were offered the opportunity to participate in the study. The inclusion criteria for participation were:

- being aged from 18 to 60 years
- not to present previous surgery in the low back region in the last 12 months[29]
- working full time
- having at least 1 year of employment in the company [30].

Randomization and blinding

At the beginning of this study, a pre-visit was organized individually to collect potential participants' characteristics. During this pre-visit, information concerning working teams was given to constitute the clusters. Cluster randomization and allocation were performed after this baseline data collection. A homemade computer program was created to cluster-randomly allocate the eligible participants into four different groups. Participants were not aware of their allocated group. In this study, the research team member in charge of (1) data collection and (2) and the supervision of warm-up knew the treatment allocation. Another research team member blinded to the assignment was responsible for data analysis.

Warm-up intervention

A warm-up intervention was implemented at a cluster level to evaluate the acute effects of a single warm-up session. For each cluster, the warm-up session was performed before the working day (8:00 am) at the worksite and in regular working clothes. The team members

who presented warm-up sessions to workers graduated with a master's degree in sport science and specialized in MSDs prevention among vineyard workers. Vineyard workers could stop warm-up at any time in case of unusual pain or discomfort. The team member responsible for the warm-up session invited vineyard workers to start their working activity as fast as possible after the warm-up and the outcomes assessment. Three different warm-up modalities were implemented: (1) a Hybrid Warm-Up (HWU), (2) a Stretching Warm-up (SWU), and (3) a Dynamic Warm-Up (DWU). The three warm-up interventions involved 20 exercises and lasted approximately 15 minutes. Each intervention differed from the other in terms of exercises but they were all designed to target the body regions highly involved over participants' working day[1,2], e.g. neck, low back, and upper extremities. A fourth group with no intervention (CONTROL) was also implemented as a comparator. The warm-up intervention modalities were described precisely in the protocol study published in 2022[27]. A brief presentation has been added in this study as follows:

1) Hybrid Warm-Up

The hybrid warm-up modality was a combination of 16 dynamic exercises e.g. trunk rotations and 4 stretching exercises e.g. the forearm extensor stretch. Each exercise was realized 10 times in a row. This warm-up intervention was the same that the one used in a previous study assessing warm-up effects among vineyard workers[26].

2) Stretching Warm-up

The stretching warm-up modality was exclusively constituted of 20 stretching exercises e.g. latissimus dorsi stretch, trunk extension stretch or forearm extensor stretch. Each stretch was held 2 times during 15 seconds.

3) Dynamic Warm-Up

The dynamic warm-up modality was a combination of 20 dynamic exercises e.g. squats, jumping jacks or wrist flexion/extension. Each exercise was realized 10 times in a row.

Study outcomes

Participants were observed 5 times, namely: before the warm-up intervention (T0), immediately after (T1), after the first hour of work (T2), after the second hour of work (T3), and after three hours of work (i.e. before lunch break) (T4). The time of measurement for each outcome is presented in the following table (Table 1).

Outcomes	T0 Before Warm-up	T1 After Warm-up	T2 After 60min of work	T3 After 120min of work	T4 After 180min of work
Perceived pain intensity	X	X	X	X	X
Work performance			X	X	X
Heart rate	X	X	X	X	X
Handgrip strength	X	X			X
Flexibility	X	X			X
Readiness to work		X			
Work quality					X
Workload					X
Visuomotor Reaction Time	X	X			X

Table 1. Time of measurements of the outcomes

Primary outcome measures

Perceived pain intensity

Pain intensity was rated respectively for the last 3 months, at (T0), (T1), (T2), (T3), and (T4). Participants were asked to rate their pain intensity over 15 anatomical locations [32] using a 0–10 numerical rating scale (NRS), where 0 is used to indicate "no pain" while 10 indicates the "worst possible pain" [33,34].

Work performance

To assess work performance, the number of grapevines pruned after one hour (T2), two hours (T3), and three hours (T4) was recorded by a research team member [35]. Pruning consists in to remove all the branches (Figure 1A) of the grapevine except two (Figure 1B) to control the growth of the plant.



Figure 1. Cep vine before (A) and after (B) pruning.

Secondary outcome measures

Handgrip strength

The handgrip strength was measured using a Camry Electronic Hand Dynamometer (Model: EH101). The participant sat with the elbow flexed at a 90° angle with the forearm and the wrist in a neutral position (Figure 2). Three maximum efforts were performed with the dominant hand with a rest period of 30 seconds between each trial. Participants were asked to press as fast and hard as possible. The best performance was retained for data analysis [36–38].



Figure 2. Handgrip strength test

Flexibility

To assess the flexibility of the trunk and the hamstrings, the fingertip-to-floor (FTF) test was used (Figure 3). This valid, reliable, and practical test is commonly used in low back pain prevention [39]. For this test, the vineyard workers were standing on a 20 cm high box with their feet together [40]. Then, participants bent forward as far as possible while keeping their knees straight. The distance (cm) between the floor and the middle finger was recorded as an index of trunk forward bending flexibility [40]. Participants performed two trials in a row and the best one was used for data analysis [39,40].



Figure 3. Fingertip to floor test

The flexibility of the upper extremities was evaluated with the back scratch test. This test gives an overall measure of the range of motion of the shoulders [41]. Participants were standing with one hand behind their back, stretching as far as possible up the spinal column. Participants then extended the other arm behind the head with the elbow bent and they tried to reach the other hand. The distance between (Figure 4A), or overlap of (Figure 4B), the middle finger from both hands behind the back were recorded [41].



Figure 4. Back scratch test. Positive (A) and negative values (B).

Heart Rate

Each vineyard worker was equipped with a heart rate (HR) monitor Geonaute Onmove 500, placed on the wrist. Due to the nature of the working task, participants placed the monitor on the arm they wanted. The HR was continuously recorded during the entire duration of the experimentation. For the statistical analysis, HR data was analyzed in original units (beats per minute [bpm]) [42]. Heart recordings were visually inspected for data quality. Participants were asked to rest during 3min before the start of the warm-up session. The mean value of the third min of rest was saved for T0 [43] and was considered as the resting heart rate. For T1,

the mean value of the 15min of the warm-up was retained [43]. For T2, T3, and T4, the mean value of the past hour was calculated. At the workplace, the Relative Heart Rate (RHR) is frequently chosen as an indicator of physical workload [44]. RHR was defined as:

$$(\text{HR}_{\text{work}} - \text{HR}_{\text{rest}}) / (\text{HR}_{\text{max}} - \text{HR}_{\text{rest}}) \times 100\%$$

HR_{rest} was the resting heart rate level measured at T0 and HR_{work} was the average heart rate assessed at T1, T2, T3, or T4. HR_{max} was the theoretical maximum heart rate calculated with the formula of Gellish [45]: $\text{HR}_{\text{max}} = 207 - 0.7 \times \text{age}$

Readiness to work

Readiness to work was rated subjectively using a 0-10 numerical rating scale, where 0 was used to indicate “not at all ready” and 10 “perfectly ready to work”. This scale was adapted from the scale of readiness to play a match, used in different team sports such as football (soccer) or handball [46,47]. Readiness to work was asked at T1, after the warm-up.

Work Quality

Work quality was assessed by the workers' managers, with the same 0-10 scale in every company [48], developed by the research team and a vineyard growing specialist. Perceived work quality was measured at T4, after the end of the first three hours of the working day.

Workload

NASA Task Load Index (NASA TLX) is a multi-dimensional scale used to estimate the workload of a worker. The NASA TLX consists of six subscales: Mental, Physical, and Temporal Demands, Frustration, Effort, and Performance. The worker rated each subscale from 0 to 100 on the experience of the specific working task. The combination of these dimensions is the global workload score and can be between 0 (low workload) and 100 (high workload). This global workload score is likely to represent the workload experienced by the workers [49,50].

Visuomotor Reaction Time

In sports, the warm-up is recognized as an opportunity to concentrate on the task following the warm-up [51]. At work, it seems important to focus on the task realized to ensure the required work quality and proper security for the worker, particularly when it uses dangerous tools (pruning shears for vineyard workers). Reaction time is influenced by numerous factors including fatigue and physical condition [52,53]. The FITLIGHT Trainer (FITLIGHT Sports Corp., Ontario, Canada) was used to measure the visuomotor reaction time (VMRT). Fit lights

are an innovative wireless system used in various sports to develop hand/eye coordination or assess reactive balance [54,55]. Eight sensors, drawing a semicircle, were placed on a table 1m high. They were separated by 20 cm, with 40 cm from the central point. Participants stood in front of it with hands in contact with the table and were instructed to touch the sensors when it turns on as quickly as possible. The total time required to touch all the lights was recorded as total VMRT while the mean time to touch each light was recorded as mean VMRT. The reaction test was performed with both hands and consisted of 60 stimuli (red or green). Participants had to react to green lights with their right hand (Figure 5A) and to red lights with their left hand (Figure 5B). Lighting sequences were generated randomly [52,56]. The mean number of errors to touch the lights was recorded as mean error VMRT.



Figure 5. Visuomotor reaction time test.

Right hand for green light (A) and left hand for red light (B).

Statistical analysis

Descriptive statistics were calculated to provide a summary of the demographic characteristics of vineyard workers. All results were presented as mean and standard deviation with a 95% confidence interval. The assumption of normal distribution was assessed using the Shapiro-Wilk test. Due to a non-normal distribution, data were log-transformed. After transformation, a repeated measures two-way analysis of variance (ANOVA) was conducted to compare study outcomes between the four groups (HWU vs DWU vs SWU vs CONTROL), across the 5 times of measurements (T0, T1, T2, T3, and T4) and the group-by-time interaction. Outcomes assessed only once (readiness to work, work quality, total work performance and NASA-TLX) were compared between the four groups with a one-way ANOVA. When a significant main effect or interaction was found, post hoc tests were performed to locate differences [57]. All analyses were performed according to the intention-to-treat principle and effect size could be computed for mean differences from baseline to follow-up measurements [58]. Effect size (ES) was calculated as Cohen's *d* [59,60] and classified as follows: large for

ES \geq 0.8, moderate for $0.5 \leq$ ES $<$ 0.8, small for $0.2 \leq$ ES $<$ 0.5 and trivial for ES $<$ 0.2 [60,61]. The statistical analysis was performed using Rstudio™ for Windows. The significance level was set at 0.05.

Results

Flow of participants

As experimentations took place during working time, some companies declined to participate in the study or allowed a small part of the working force to participate. Furthermore, recruitment was complicated due to the COVID-19 pandemic context, with governmental restrictions in the workplace. Despite these difficulties, 10 contacted companies agreed to participate. The study was presented to 200 vineyard workers. Of those, 139 (69.5%) consented to participate and were invited to the pre-visit measurement. Of these, 120 underwent baseline measurements and were divided into 40 clusters including 2–5 participants each according to the company's organization. The 40 clusters were randomized, with 10 clusters (30 participants) assigned to the HWU, 10 clusters (30 participants) to DWU, 10 clusters (30 participants) to SWU, and 10 clusters (30 participants) to CONTROL. Between the allocation and the measurements, 28 participants were lost to follow-up for several reasons (job leave, sick leave, no longer agreeing to participate). Finally, 92 participants were included in the analysis. The sample and the study design are described in Figure 6.

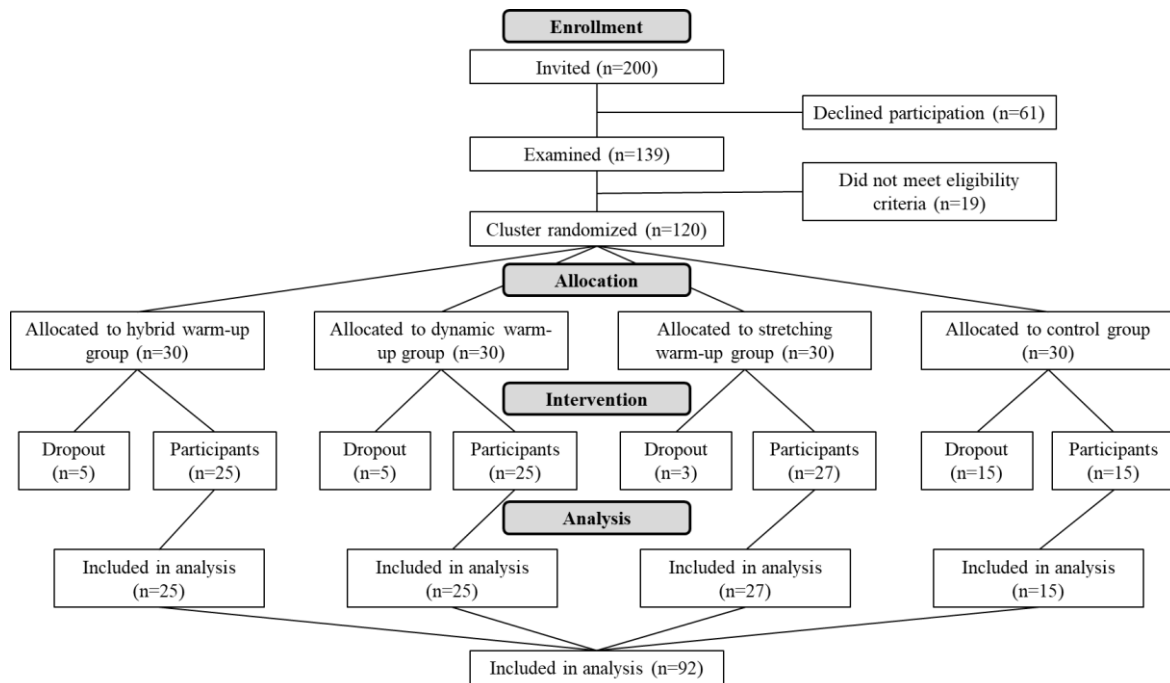


Figure 6. Flow chart of participants

Baseline characteristics

The baseline characteristics of the study population are presented in Table 2. No significant difference between the four groups was observed in height, weight, body mass index, and age. There was a significant difference in seniority between the SWU group and the CONTROL group ($p < 0.05$). Effect size for the difference in seniority was 0.72, which was categorized as medium.

Participants demographics	CONTROL	HWU	SWU	DWU
Gender: female (%)	26,67	40,00	14,81	20,00
Height (cm)	172.60 (10.60)	172.28 (8.06)	171.48 (8.69)	171.24 (7.99)
Weight (kg)	76.73 (8.85)	75.28 (14.09)	77.00 (14.10)	71.68 (10.64)
BMI (kg/m²)	25.82 (2.86)	25.34 (4.19)	26.20 (4.63)	24.54 (4.03)
Age (years)	37.27 (11.05)	39.96 (11.21)	39.93 (11.83)	35.00 (11.87)
Seniority (years)	8.87 (8.01)	14.40 (11.19)	17.56 (11.57) *	10.88 (10.03)

Table 2. Baseline characteristics of the study population

Values are presented as mean (standard deviation)

* $p < 0.05$ the difference with the CONTROL group

The perceived pain intensity at baseline (during the 3 last months and at T0) for the fifteen pain locations are presented in supplementary material (see Additional file 2). Only the lower back area was concerned by pain > 2 on the 0-10 scale during the 3 last months for the four groups.

The perceived pain intensity for the lower back area is presented in Table 3. There was no significant difference in interaction between the four groups and times of measurement. There was a group effect as pain intensity was significantly higher in the CONTROL group ($p < 0.05$). There was also a time effect as firstly, the mean pain during the last 3 months was higher than at T0, T1 and T2 ($p < 0.05$) but there was no significant difference between the mean pain during the last 3 months and T3 and T4. Secondly, pain at T4 was higher than T0 ($p < 0.05$), and pain at T3 and T4 were higher than T1 ($p < 0.05$).

Pain at the Low Back	CONTROL	HWU	SWU	DWU
3 last months	3.60 (3.27)	2.56 (3.12)	2.04 (2.58)	2.32 (2.98)
T0	1.87 (2.85)	0.72 (1.99)	0.96 (1.72)	0.88 (1.83)
T1	1.87 (3.14)	0.56 (1.56)	0.59 (1.37)	0.64 (1.60)
T2	2.80 (3.32)	0.84 (1.80)	1.07 (1.64)	0.88 (1.59)
T3	3.07 (2.74)	1.16 (2.06)	1.56 (2.15)	1.72 (2.41)
T4	3.31 (3.47)	1.93 (2.40)	1.95 (1.84)	1.68 (2.63)

Table 3. Perceived pain intensity at the low back
Values are presented as mean (standard deviation)
All measurements are on a 0-10 scale

The work performance results are presented in Table 4. No significant difference was observed in interaction between groups and times of measurement. There was a significant difference between groups as performance in DWU was higher than CONTROL group ($p < 0.05$). No significant difference was observed between groups in total work performance.

Work performance	CONTROL	HWU	SWU	DWU
T2	150.40 (80.11)	154.32 (70.68)	156.67 (86.55)	159.20 (50.71)
T3	140.40 (72.22)	148.60 (60.49)	165.67 (95.21)	177.18 (51.22)
T4	145.20 (56.02)	157.36 (66.54)	151.67 (78.73)	172.24 (62.30)
Total	436.00 (203.34)	460.28 (191.27)	474.00 (251.21)	508.64 (151.40)

Table 4. Work performance at T2, T3, T4, and total work performance.

Values are presented as mean (standard deviation)

All measurements are in number of pruned vines

* $p < 0.05$ the difference with the CONTROL group

Results obtained for the physical capacities are presented in Table 5. No significant difference between the four groups was observed for the handgrip test. There was a significant difference

between groups as the mean FTF score was better in the DWU group than the others groups ($p<0.05$). There were significant differences between groups for the back scratch tests. The mean score in Right Back Scratch was better in CONTROL and DWU than SWU ($p<0.05$). The mean score in Left Back Scratch was significantly better in CONTROL, HWU and DWU than SWU ($p<0.05$).

The VMRT results are presented in Table 5. No significant difference in interaction between groups and time of measurement were observed in the mean error VMRT, the mean time VMRT, and the total time VMRT. There was a significant difference between times of measurement. Time and mean time were significantly higher at T4 than T1 ($p<0.05$). Mean error was significantly higher at T0 than T1 and T4 ($p<0.05$).

Outcomes	Time of measurement	CONTROL	HWU	SWU	DWU
Handgrip Strength (kg)	T0	42.17 (11.33)	39.50 (9.59)	42.90 (11.14)	43.64 (9.53)
	T1	42.40 (10.96)	40.06 (10.27)	43.80 (12.78)	43.72 (9.22)
	T4	43.65 (12.92)	42.14 (9.64)	45.40 (11.92)	45.00 (9.58)
Fingertip-to-floor (cm)	T0	19.90 (10.21)	24.20 (12.36)	23.07 (10.64)	14.40 (10.14)
	T1	19.13 (10.46)	21.36 (12.54)	20.26 (10.48)	12.88 (9.13)
	T4	16.33 (7.41)	20.14 (10.75)	19.00 (10.08)	11.24 (9.41)
Right Back Scratch (cm)	T0	9.07 (15.93)	9.48 (11.22)	14.07 (13.14)	6.00 (10.48)
	T1	6.53 (11.26)	7.12 (11.88)	12.41 (13.61)	5.72 (11.35)
	T4	6.13 (10.08)	8.00 (11.39)	13.81 (14.23)	5.16 (10.80)
Left Back Scratch (cm)	T0	9.93 (12.98)	14.84 (14.07)	21.70 (11.99)	11.44 (10.95)
	T1	8.73 (13.01)	12.72 (12.60)	19.15 (11.49)	10.76 (11.54)
	T4	8.60 (13.74)	13.64 (12.00)	19.33 (12.26)	11.08 (11.10)
Mean Error VMRT (number)	T0	3.13 (2.61)	4.50 (5.64)	6.00 (7.75)	4.92 (4.23)
	T1	2.27 (3.20)	1.17 (1.61)	2.52 (2.99)	2.52 (2.82)
	T4	2.60 (3.02)	2.60 (2.81)	2.30 (3.38)	3.08 (2.25)
Mean Time VMRT (s)	T0	0.73 (0.19)	0.69 (0.10)	0.68 (0.09)	0.66 (0.08)
	T1	0.67 (0.12)	0.65 (0.07)	0.66 (0.08)	0.64 (0.08)
	T4	0.71 (0.13)	0.70 (0.13)	0.73 (0.14)	0.68 (0.09)
Total Time VMRT (s)	T0	50.02 (11.30)	51.02 (8.22)	49.66 (5.65)	48.71 (4.86)
	T1	48.10 (7.55)	48.01 (4.48)	48.58 (4.94)	47.13 (4.94)
	T4	50.37 (8.35)	50.95 (7.76)	52.87 (8.79)	47.32 (11.14)

Table 5. Handgrip, Fingertip-to-floor, Back scratch, and Visuo-Motor Reaction Time tests results

Values are presented as mean (standard deviation)

* $p < 0.05$ the difference

The heart rate results are presented in Table 6. At T0, there were no significant difference between the four groups. For the three intervention groups, the heart rate at T1 was higher than T0 ($p < 0.001$). For the CONTROL group, the heart rate at T1 was similar to T0. The heart rate at T1 was significantly higher in the HWU group and DWU group than the heart rate at T1 in the CONTROL group ($p < 0.001$). Effect size for the difference was 1.3 for both the HWU group and the DWU group, which was categorized as large. For the DWU group, the heart rate at T1 was significantly higher than the heart rate at T1 in the SWU group ($p < 0.001$). Effect size for the difference was 0.9, which was categorized as large. For the CONTROL group, the heart rate was significantly higher at T2, T3, and T4 than T0 ($p < 0.001$) and T1. For the intervention groups, the heart rate at T2, T3, and T4 was significantly higher than the heart rate at T0. For the intervention groups, there was no significant difference in the heart rate at T2, T3, and T4.

The RHR results are presented in Table 6. At T1, the RHR in the DWU group was higher than the CONTROL, HWU, and SWU groups ($p < 0.001$). Effect size for the differences was 5.0 for the CONTROL group, 1.48 for the HWU group, and 1.89 for the SWU group which were all categorized as large. There was no significant difference in the RHR between the CONTROL, HWU, and SWU groups at T1. The RHR was significantly higher at T2 and T4 than at T1 for the CONTROL group ($p < 0.05$). In the DWU, the RHR was higher at T2 and T4 than at T1 in the CONTROL group ($p < 0.05$).

Time of measurement	CONTROL		HWU		SWU		DWU	
	HR (bpm)	RHR (%)	HR (bpm)	RHR (%)	HR (bpm)	RHR (%)	HR (bpm)	RHR (%)
T0	65,50 (6,27)	0 (0)	70,42 (9,66)	0 (0)	64,44 (8,05)	0 (0)	62,41 (5,90)	0 (0)
T1	78,22 (6,09)	10.97 (4.29)	93,15 (11,00) ***, †††	20.47 (8.12)	88,33 (8,67) ***	20.65 (6.25)	101,31 (12,82) ***, †††, ΔΔΔ	32.48 (11.33) ●●●
T2	95,07 (7,12) ***, †††	25.64 (7.20) ●	95,47 (11,67) ***, †††	19.07 (17.99)	90,97 (8,39) ***, †††	23.12 (5.48)	91,62 (9,45) ***, †††	24.40 (6.86) ●
T3	93,84 (6,67) ***, ††	24.52 (7.40)	96,56 (13,11) ***, †††	19.71 (19.58)	90,08 (8,88) ***, †††	22.44 (7.04)	89,78 (8,89) ***, †	23.11 (6.26)
T4	99,32 (7,74) ***, †††	28.52 (7.17) ●	95,59 (13,77) ***, †††	18.89 (22.37)	88,89 (8,30) ***	22.41 (6.70)	92,84 (8,72) ***, ††	25.14 (7.81) ●

Table 6. Heart Rate and Relative Heart Rate

Values are presented as mean (standard deviation)

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001 the difference with T0 in HR

† p < 0.05, †† p < 0.01, ††† p < 0.001 the difference with CONTROL group at T1 in HR

Δ p < 0.05, ΔΔ p < 0.01, ΔΔΔ p < 0.001 the difference with SWU group at T1 in HR

● p < 0.05, ●● p < 0.01, ●●● p < 0.001 the difference with CONTROL group at T1 in RHR

The NASA TLX results are presented in Table 7. No significant difference between the four groups was observed in the physical demand, temporal demand, effort, and frustration items. There was a significant difference in mental demand between the SWU group and the DWU group ($p < 0.05$). Effect size for the difference was 0.79, which was categorized as medium. There was a significant difference in performance between the SWU group and the CONTROL group ($p < 0.05$). Effect size for the difference was 0.81, which was categorized as large. There was a significant difference between CONTROL and DWU groups in the NASA TLX global score ($p < 0.05$). Effect size for the difference was 0.80, which was categorized as large.

Results obtained for the readiness to work and work quality are presented in Table 7. Readiness to work was higher in the HWU group ($p < 0.01$) and the DWU group ($p < 0.05$) than the CONTROL group. Effect size for the difference was 0.9 for the HWU group, which was categorized as large and 0.79 for the DWU group which was categorized as medium. There was a significant difference in work quality between the SWU group and the CONTROL group ($p < 0.05$). Effect size for the difference was 0.83 which was categorized as large.

	Work perceptions	CONTROL	HWU	SWU	DWU
NASA TLX (0-100)	Mental Demand	39.33 (26.04)	33.60 (17.77)	38.15 (24.66)	21.60 (20.55) †
	Physical Demand	46.00 (17.65)	37.60 (23.32)	41.85 (21.31)	33.20 (18.19)
	Temporal Demand	43.33 (29.44)	33.6 (20.39)	40.37 (26.38)	27.6 (19.85)
	Performance	37.33 (15.34)	32.00 (23.09)	21.11 (18.67) *	26.00 (18.71)
	Effort	47.33 (19.44)	39.60 (20.10)	41.85 (20.76)	34.80 (12.29)
	Frustration	17.33 (17.51)	19.60 (24.75)	24.81 (26.07)	17.20 (23.72)
	Global Score	38.44 (14.13)	32.67 (14.90)	34.69 (14.68)	26.73 (13.38) *
Perceptions (0-10)	Readiness to work	6.40 (2.47)	8.72 (1.49) **	7.93 (2.76)	8.36 (1.22) *
	Work Quality	7.20 (1.15)	7.76 (1.01)	8.37 (1.28) *	7.84 (0.80)

Table 8. NASA TLX, Readiness to work and work quality results

Values are presented as mean (standard deviation)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ the difference with the CONTROL group

† $p < 0.05$ the difference with the SWU group

Discussion

This study aimed to (1) investigate the acute effect of a warm-up session on pain, work performance, and physical and psychosocial capacities among vineyard workers and to (2) determine the most beneficial warm-up modality for vineyard workers.

Primary outcomes

As reported in numerous studies on physical activity at the workplace, pain was considered as a primary outcome [9,11,62]. Our results show that the body region the most concerned by pain among vineyard-workers is the low back area. Overall, this finding is consistent with the existing literature [16,63,64] highlighting the need to implement interventions to improve the management of low back pain. Our results are also in line with the last available report of the French health insurance of the agricultural sector, which reported that low back pain was one of the most expensive musculoskeletal disease in 2016 with a total cost of 16.7 M€ (Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles – Bilan national 2012-2016). At baseline, the low back area is the only anatomical location concerned by pain > 2 on a 0-10 pain scale for the four groups. Larinier and colleagues [26], also among vineyard-workers, observed similar findings where the perceived pain intensity over the last 3 months was lower than 0.5 on the 0-10 pain scale for all the anatomical locations excepting for the low back area (1.63 ± 2.50). These levels of perceived pain intensity are considered in the literature as little or moderate pain [65–67]. On the one hand, 40% of the sample reported a mean pain intensity >4/10 for the low back area. On the other hand, 50% of this sample has reported no pain over the last 3 months. Taken together, levels of pain intensity over the last 3 months as well as at T0 may suggest a floor effect and could have diluted the observed treatment effect [68]. This is corroborated with the absence of significant difference for low back pain intensity between T0 and T4 and between groups. In summary, acute effects of warm-up on perceived pain intensity seem to be limited among our population of vineyard-workers. This result shed light on the difficulties encountered in a workplace context to include participants with high levels of perceived pain intensity [69]. In our study, a combination of factors may explain the absence of acute effects on pain intensity. First, vineyard-workers included in this study are relatively young (38.35 ± 11.48 years old), that could limit the presence of pain. The evidence shows that older workers (>45 years-old) have are more likely to experience pain (67-68). Secondly, as rightly pinpointed by Steenstra [71], pain intensity can be considered as a sickness prognostic factor for patients with low back

pain. This suggests workers with moderate or high pain intensity are likely to be workers on sick leave, making them unavailable to participate in field studies.

We have also considered work performance as a primary outcome like some studies assessing effects of a physical activity intervention in the workplace [35]. This outcome is highly relevant from an employer's perspectives which most of the time will fund the intervention [72]. In many other occupational sectors, productivity is difficult to measure and studies consequently focus on presenteeism and/or absenteeism [35]. However, estimating productivity among vineyard-workers is easy and is calculated using the number of vines pruned within a time frame. In summary, our results demonstrated that performing dynamic warm-up exercises led to increase productivity by approximately 14% compared to no warm-up. Implication for the return on investment and long term engagement are therefore considerable. First, this difference of 14% (72.64 pruned vines difference) corresponds to approximately 30 minutes of pruning. Therefore, from the employer's perspective, this suggests that the time invested in warm-up exercises could not impair productivity. Fletcher [73] reported that time is one of the most significant barriers to engaging in a physical activity program at the workplace as employer. In this context, the average duration of a warm-up intervention, i.e. around 15minutes and the positive effect observed for performance, could represent a strategy to overcome this barrier. During the entire pruning period, generally 3 months in Bordeaux (France), from December to February, we can hypothesize a 900min gain (12weeks*5days*15min), which corresponds to 2 days of work. From the employees' perspective, this gain is particularly interesting as wages depend of their productivity during this period. In addition, this gain in productivity could encourage employers to implement WU during working hours, leading to a more favorable recruitment among workers as highlighted by Ryde et al [74].

Secondary outcomes

In the present study heart rate, relative heart rate, readiness to work, work quality, workload assessed with the NASA-TLX, strength, flexibility and the total time, the mean time and the mean error of the visuo-motor reaction time were considered as secondary outcomes.

Interestingly, the heart rate significantly increased immediately after the achievement of a warm-up session. More specifically, HR increased by approximately 35% after the warm-up session in both the HWU and SWU groups while HR increased by 62% for the DWU group. As expected, DWU seems to be the warm-up intervention that increases the most the HR (ES

= 1.3). We have also estimated relative heart rate (RHR) which is, in industrial practice an indirect measure of physical workload. Interestingly, in the present study, performing warm-up exercises seems to be beneficial to increase the heart rate to a level similar to the one reached during the working task (approximately 20% RHR). Among the 3 warm-up modalities, the DWU intervention is the one providing significantly higher changes in RHR. For instance, RHR is significantly higher after the warm-up intervention (T1) in the DWU group than in the CONTROL group ($32.48\% \pm 11.33$ at T1 vs $10.97\% \pm 4.29$ at T1; $p < 0.001$; ES = 5.0). In a workplace context, our results suggest that pruning activity is moderate in terms of intensity as RHR is below 30% in the four groups and considering all time of measurements (T2, T3, and T4). In sports' scientific literature, authors suggest reaching an intensity of 60% RHR during the warm-up (1) to maximize the effects on physical capacities and (2) to maximize the chance of reaching the best performance [20,21,75]. Therefore, taken together our results also suggest that in a workplace being close to 60% of RHR is not necessary to increase work performance where a RHR of 30% is associated with an increased in work performance [20,75]. These results also highlight the interest of HR monitoring to manage the intensity in the implementation of a warm-up in the workplace as it is inexpensive, time-efficient and non-invasive [42].

To evaluate the workload, the NASA-TLX is the most cited survey [76] based workload measure. NASA-TLX consists of six subscales: mental demand, physical demand, temporal demand, frustration, effort, and performance. Among these six items, a significant difference was found in mental demand between the SWU group and the DWU group (38.15 ± 24.66 vs 21.60 ± 20.55 , $p < 0.05$; ES = 0.79). This result indicates that mental demand was lower in the DWU group which is in line with the higher score in readiness to work. Interestingly, the mental demand was higher in the SWU as well as the work quality ($p < 0.05$; ES = 0.83), suggesting that workers in the SWU group may mobilized more mental resources to produce superior work quality. These results are in line with the significant difference observed for performance in the NASA-TLX survey where the SWU group perceived a better overall performance (quality and quantity of achieved work) than the CONTROL group (21.11 ± 18.67 vs 37.33 ± 15.34 , $p < 0.05$; ES = 0.81). The total workload, including the six NASA TLX items was significantly higher in the CONTROL group than the DWU group ($p < 0.05$; ES = 0.80). Among 1173 observations in various sectors, Grier [76] highlighted a mean score of 45.29 ± 14.99 . This indicated that the perceived workload in this vineyard-workers sample was low during a pruning activity. This surprising result could be linked to the low level of perceived

pain as several authors [69,77] demonstrated that working with moderate or high pain level tends to increase the workload.

Results showed higher readiness to work in the HWU (8.72 ± 1.49 vs 6.40 ± 2.47 ; $p < 0.01$; $ES = 0.90$) and the DWU (8.36 ± 1.22 vs 6.40 ± 2.47 ; $p < 0.01$; $ES = 0.79$) than the CONTROL group. On the contrary, no effect on work readiness is observed after SWU. These results indicate a positive effect of the dynamic exercises on the readiness to work in contrast to the stretching exercises. In other words, vineyard-workers seemed to feel more confident and more comfortable beginning the working activity after performing exercises from these 2 WU modalities. Hence, results of the present study are in line with the results observed in a previous study published in 2023 [26] where a single HWU session of 15 minutes significantly improved the readiness to work compared to a group of vineyard workers who did not perform any warm-up exercises.

Regarding workers' physical capacities, our findings do not show acute effects. First, we have considered handgrip strength as a secondary outcome. We expected warm-up exercises in the workplace to increase maximal strength as reported in sports [19]. However, no significant difference is observed between intervention and CONTROL groups. Interestingly, at T0 handgrip strength of vineyard-workers was around 40kg, which is in accordance with normative data of the general population with similar age and considered as "good" [78,79]. Therefore, a plausible reason for no significant effect between intervention and CONTROL groups is the number/intensity of exercises targeting forearm muscles was too low to observe a handgrip strength improvement.

In the same vein, our results did not show any improvements for flexibility of the upper-extremity as well as flexibility of the lower-extremity and the back whatever the warm-up intervention. This result is particularly surprising for the SWU where vineyard-workers performed only stretching exercises. Acute effects on flexibility were expected as several authors demonstrated the relationship between static stretching and acute improved flexibility [80,81] among healthy young adults. Based on a previous study implementing static stretching exercises as warm-up among manual workers, a 30 seconds duration per exercise was fixed [24,82]. On the one hand, this duration limits the impairments on performance [83,84]. In our study, this last point seems to be verified since no detrimental effect is observed on handgrip maximal strength and on work performance. On the other hand, a duration longer than 1 minute could be more effective to observe results on flexibility

[80,81,85]. Therefore, the optimal stretching duration (e.g. between 30 seconds and 60 seconds per exercise) should be investigated in future studies. Finally, the presence of a ceiling effect can once again be considered as another possible explanation for the absence of effect on flexibility. For the FTF, the majority (54%) of the sample is able to reach the ground while bending forward from a standing position, that is considered as a good flexibility performance [39,40]. This high level in flexibility at baseline may have limited the possibility of increasing by a ceiling effect.

The visuomotor reaction time can be considered as the time needed to select and execute the appropriate motor response in a changing environment [55]. The reaction time is influenced by numerous factors including fatigue and physical condition [52,53]. VMRT may play a major role during pruning since vineyard-workers have to quickly select the appropriate branch and in the same time have to anticipate the cuts they will done on the next vine-cep. Concerning VMRT, no significant difference in interaction group-by-time is observed between the four groups for the 3 outcomes, i.e. the mean error VMRT, the mean time VMRT, and the total time VMRT. However, significant differences for the factor Time are observed. In this sense, we observed two main results. Firstly, the total time and the mean time were significantly higher at T4 than at T1. Interestingly, participants produced a similar number of errors at T1 and T4, but maintaining a low level of errors in this cognitive task required more time at T4 for the vineyard workers. Such result may highlight mental fatigue induced by the 3h of work. Secondly, we also observed significant less error at T1 and T4 compared to T0 in all groups. In our hypothesis, we did not expect a reduction for the number of errors for the CONTROL group between T1 and T0. The decreased number of errors could be attributed (1) to a sustainable beneficial effect of the warm-up intervention or (2) to a learning effect [55].

In pruning, the time to select the woods to be removed is also seniority-dependent as most experienced workers are more skilled than novices [86]. Interestingly, there is no significant difference in seniority between the CONTROL, the HWU, and the DWU groups. There was only a difference between the SWU and the CONTROL group (17.56 ± 11.57 vs 8.87 ± 8.01 ; $p < 0.05$; $ES = 0.72$). This difference could be linked with the significantly higher work quality observed in the SWU group (8.37 ± 1.28 vs 7.20 ± 1.15 ; $p < 0.05$; $ES = 0.83$). As the SWU group's workers are more experienced, they are probably more skilled which may explain the better work quality observed in this study [86].

Strengths and limitations

The cluster-randomized design of this study could be considered as a strength since participants were randomly allocated to the four groups and were blinded to their allocation. This design allows intervention at the gang level, thus reducing some of the risks of biases associated with non-randomized studies. This study further followed the SPIRIT guidelines, registered the trial in ClinicalTrials.gov (NCT05425693), and followed a protocol study published in 2022 [27]. As described in the protocol study, the team members who supervised warm-up sessions to workers graduated with a master's degree in sport science and specialized in MSDs prevention among vineyard workers. In addition, the research team member responsible for the data analysis was blinded to the participant's allocation. A limitation of this study is that the number of dropouts was higher than expected. Among the 120 participants distributed in the 40 randomized clusters, 28 participants dropout for several reasons (job leave, sick leave, no longer agreeing to participate). Interestingly, the CONTROL group was the one that suffered the most of drop-outs with 15 participants (53%) dropping out, among the 28 drop-outs. In the CONTROL group, 11 participants (3 clusters) were lost because they choose to withdrawal due to their disappointment not to receive a warm-up intervention by being allocated to the CONTROL group. Hence, only 15 participants in the CONTROL group were included in the statistical analysis, which could explain a reduction in statistical power. This disappointment bias is often described in RCT [87,88] and the cross-over design could have limited this phenomenon.

Conclusion

Results of this cluster-randomized study confirm the beneficial acute effects hypothesized of a single warm-up session performed before pruning on work performance, workload, readiness to work and work quality. However, the three different warm-up protocols did significantly not differ from the CONTROL group in terms of perceived pain intensity, and physical capacities. Due to its significant effects on performance, heart rate, readiness to work and workload DWU looks as the most promising modality among these workers. On the contrary, limited beneficial effects of the HWU and the SWU were reported. Taken together, our results suggest that performing exercises with moderate intensity is important. Consequently, we suggest monitoring HR during warm-up to ensure the targeted intensity is reached.

References

1. Meyers JM, Faucett J, Tejada DG, Kabashima J, Miles JA, Janowitz I, et al. High Risk Tasks for Musculoskeletal Disorders in Agricultural Field Work. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2000 Jul 1;44(22):616–9.
2. Bernard C, Courouve L, Bouée S, Adjémian A, Chrétien JC, Niedhammer I. Biomechanical and psychosocial work exposures and musculoskeletal symptoms among vineyard workers. *J Occup Health*. 2011;53(5):297–311.
3. Bevan S. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2015 Jun;29(3):356–73.
4. Chang YF, Yeh CM, Huang SL, Ho CC, Li RH, Wang WH, et al. Work Ability and Quality of Life in Patients with Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 May;17(9).
5. Bernal D, Campos-Serna J, Tobias A, Vargas-Prada S, Benavides FG, Serra C. Work-related psychosocial risk factors and musculoskeletal disorders in hospital nurses and nursing aides: a systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud*. 2015 Feb;52(2):635–48.
6. Park JH, Lim HS, Lee K. Work-Related Musculoskeletal Symptoms Among Dairy Farmers in Gyeonggi Province, Korea. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 2010;43(3):205–12.
7. Sweeney K, Mackey M, Spurway J, Clarke J, Ginn K. The effectiveness of ergonomics interventions in reducing upper limb work-related musculoskeletal pain and dysfunction in sonographers, surgeons and dentists: a systematic review. *Ergonomics*. 2021 Jan;64(1):1–38.
8. Hoe VC, Urquhart DM, Kelsall HL, Zamri EN, Sim MR. Ergonomic interventions for preventing work-related musculoskeletal disorders of the upper limb and neck among office workers. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2018;(10).
9. Chen X, Coombes BK, Sjøgaard G, Jun D, O’Leary S, Johnston V. Workplace-Based Interventions for Neck Pain in Office Workers: Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*. 2018 Jan 1;98(1):40–62.
10. da Costa BR, Vieira ER. Stretching to reduce work-related musculoskeletal disorders: a systematic review. *J Rehabil Med*. 2008 May;40(5):321–8.
11. Lowry V, Desjardins-Charbonneau A, Roy JS, Dionne CE, Frémont P, MacDermid JC, et al. Efficacy of workplace interventions for shoulder pain: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med*. 2017 Jul 7;49(7):529–42.
12. Coury HJCG, Moreira R de FC, Dias NB. Evaluation of the effectiveness of workplace exercise in controlling neck, shoulder and low back pain: a systematic review. 2009
13. Sundstrup E, Seeberg KGV, Bengtsen E, Andersen LL. A Systematic Review of Workplace Interventions to Rehabilitate Musculoskeletal Disorders Among Employees with Physical Demanding Work. *J Occup Rehabil*. 2020 Mar 26;
14. Bordado Sköld M, Bayattork M, Andersen LL, Schlänsen V. Psychosocial effects of workplace exercise - A systematic review. *Scand J Work Environ Health*. 2019 01;45(6):533–45.
15. Abdin S, Welch RK, Byron-Daniel J, Meyrick J. The effectiveness of physical activity interventions in improving well-being across office-based workplace settings: a systematic review. *Public Health*. 2018 Jul;160:70–6.

16. Bell JA, Burnett A. Exercise for the Primary, Secondary and Tertiary Prevention of Low Back Pain in the Workplace: A Systematic Review. *J Occup Rehabil.* 2009 Mar 1;19(1):8–24.
17. Mänttari S, Oksa J, Lusa S, Korkiakangas E, Punakallio A, Oksanen T, et al. Interventions to promote work ability by increasing physical activity among workers with physically strenuous jobs: A scoping review. *Scand J Public Health.* 2021 Mar;49(2):206–18.
18. Andersen LL, Zebis MK. Process evaluation of workplace interventions with physical exercise to reduce musculoskeletal disorders. *Int J Rheumatol.* 2014;2014:761363.
19. McCrary JM, Ackermann BJ, Halaki M. A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br J Sports Med.* 2015 Jul;49(14):935–42.
20. McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, Rattray B. Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports Med.* 2015 Nov 1;45(11):1523–46.
21. Woods K, Bishop P, Jones E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med.* 2007;37(12):1089–99.
22. Larinier N, Vuillerme N, Balaguier R. Effectiveness of warm-up interventions on work-related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions among workers: a systematic review. *BMJ Open.* 2023 May 1;13(5):e056560.
23. Holmström E, Ahlborg B. Morning warming-up exercise--effects on musculoskeletal fitness in construction workers. *Appl Ergon.* 2005 Jul;36(4):513–9.
24. Gartley RM, Prosser JL. Stretching to prevent musculoskeletal injuries. An approach to workplace wellness. *AAOHN J.* 2011 Jun;59(6):247–52.
25. DiStefano LJ, Marshall SW, Padua DA, Peck KY, Beutler AI, de la Motte SJ, et al. The Effects of an Injury Prevention Program on Landing Biomechanics Over Time. *Am J Sports Med.* 2016 Mar;44(3):767–76.
26. Larinier N, Vuillerme N, Jadaud A, Malherbe S, Balaguier R. Effects of a warm-up intervention at the workplace on pain, heart rate, work performance and psychological perception among vineyard workers. *Journal of Agromedicine.* 2023 Jan 27;0(0):1–15.
27. Larinier N, Vuillerme N, Jadaud A, Malherbe S, Balaguier R. Exploring acute effects of workplace warm-up intervention on pain, physical capacities, and productivity in agriculture: A study protocol. *Work.* 2022 Jan 1;Preprint(Preprint):1–16.
28. Brandt M, Madeleine P, Samani A, Ajslev JZ, Jakobsen MD, Sundstrup E, et al. Effects of a Participatory Ergonomics Intervention With Wearable Technical Measurements of Physical Workload in the Construction Industry: Cluster Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res.* 2018 Dec 19;20(12):e10272.
29. Sihawong R, Janwantanakul P, Jiamjarasrangsri W. A prospective, cluster-randomized controlled trial of exercise program to prevent low back pain in office workers. *Eur Spine J.* 2014 Apr;23(4):786–93.
30. Balaguier R, Madeleine P, Rose-Dulcina K, Vuillerme N. Effects of a Worksite Supervised Adapted Physical Activity Program on Trunk Muscle Endurance, Flexibility, and Pain Sensitivity Among Vineyard Workers. *Journal of Agromedicine.* 2017 Jul 3;22(3):200–14.
31. Campbell MK, Piaggio G, Elbourne DR, Altman DG. Consort 2010 statement: extension to cluster randomised trials. *BMJ.* 2012 Sep 4;345:e5661.
32. Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sørensen F, Andersson G, et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon.* 1987 Sep;18(3):233–7.

33. Cho YT, Hsu WY, Lin LF, Lin YN. Kinesio taping reduces elbow pain during resisted wrist extension in patients with chronic lateral epicondylitis: a randomized, double-blinded, cross-over study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018 Jun 19;19(1):193.
34. Calatayud J, Escriche-Escuder A, Cruz-Montecinos C, Andersen LL, Pérez-Alenda S, Aiguadé R, et al. Tolerability and Muscle Activity of Core Muscle Exercises in Chronic Low-back Pain. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Sep 20;16(19).
35. Grimani. The effectiveness of workplace nutrition and physical activity interventions in improving productivity, work performance and workability: A Systematic Review. 2019 Dec 6.
36. Vercruyssen J, Scafoglieri A, Cattrysse E. The Impact of Palmaris Longus Muscle on Function in Sports: An Explorative Study in Elite Tennis Players and Recreational Athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2016 Jun;1(2):167–82.
37. Hammed AI, Obaseki CO. Interdependence of body mass index with handgrip strength and endurance among apparently healthy teenagers. *Turkish Journal of Kinesiology*. 2018 Mar 30;4(1):1–7.
38. Sundstrup E, Jakobsen MD, Brandt M, Jay K, Aagaard P, Andersen LL. Strength Training Improves Fatigue Resistance and Self-Rated Health in Workers with Chronic Pain: A Randomized Controlled Trial. *Biomed Res Int*. 2016;2016:4137918.
39. Ekedahl H, Jönsson B, Frobell RB. Fingertip-to-floor test and straight leg raising test: validity, responsiveness, and predictive value in patients with acute/subacute low back pain. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012 Dec;93(12):2210–5.
40. Perret C, Poiraudreau S, Fermanian J, Colau MM, Benhamou MA, Revel M. Validity, reliability, and responsiveness of the fingertip-to-floor test. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001 Nov;82(11):1566–70.
41. del Pozo-Cruz B, Gusi N, Adsuar JC, del Pozo-Cruz J, Parraca JA, Hernandez-Mocholí M. Musculoskeletal fitness and health-related quality of life characteristics among sedentary office workers affected by sub-acute, non-specific low back pain: a cross-sectional study. *Physiotherapy*. 2013 Sep 1;99(3):194–200.
42. Schneider C, Wiewelhove T, McLaren SJ, Röleke L, Käsbauer H, Hecksteden A, et al. Monitoring training and recovery responses with heart rate measures during standardized warm-up in elite badminton players. *PLoS One*. 2020 Dec 21;15(12).
43. Neiva HP, Marques MC, Barbosa TM, Izquierdo M, Marinho DA. Warm-up and performance in competitive swimming. *Sports Med*. 2014 Mar;44(3):319–30.
44. Wu HC, Wang MJJ. Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics*. 2002 Mar 15;45(4):280–9.
45. Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc*. 2007 May 1;39(5):822–9.
46. Romaratezabala E, Nakamura FY, Castillo D, Gorostegi-Anduaga I, Yanci J. Influence of warm-up duration on physical performance and psychological perceptions in handball players. *Research in Sports Medicine (Print)*. 2018 Jun;26(2):230–43.
47. Yanci J, Iturri J, Castillo D, Pardeiro M, Nakamura FY. Influence of warm-up duration on perceived exertion and subsequent physical performance of soccer players. *Biol Sport*. 2019 Jun;36(2):125–31.
48. Ben-Ner A, Hamann DJ, Koeppe G, Manohar CU, Levine J. Treadmill Workstations: The Effects of Walking while Working on Physical Activity and Work Performance. *PLoS One*. 2014 Feb 20;9(2):e88620.

49. Hart SG, Staveland LE. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hancock PA, Meshkati N, editors. *Advances in Psychology* [Internet]. North-Holland; 1988. p. 139–83. (Human Mental Workload; vol. 52).
50. Hart SG. Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2006 Oct 1;50(9):904–8.
51. Jay K, Brandt M, Sundstrup E, Schraefel M, Jakobsen MD, Sjøgaard G, et al. Effect of individually tailored biopsychosocial workplace interventions on chronic musculoskeletal pain, stress and work ability among laboratory technicians: randomized controlled trial protocol. *BMC Musculoskelet Disord*. 2014 Dec 18;15:444.
52. Reigal RE, Barrero S, Martín I, Morales-Sánchez V, Juárez-Ruiz de Mier R, Hernández-Mendo A. Relationships Between Reaction Time, Selective Attention, Physical Activity, and Physical Fitness in Children. *Front Psychol*. 2019;10:2278.
53. Baayen RH, Milin P. Analyzing reaction times. *International Journal of Psychological Research*. 2010 Dec 30;3(2):12–28.
54. Vater C, Strasburger H. Topical Review: The Top Five Peripheral Vision Tools in Sport. *Optom Vis Sci*. 2021 Jul 1;98(7):704–22.
55. Verschueren J, Tassignon B, Pluym B, Van Cutsem J, Verhagen E, Meeusen R. Bringing context to balance: development of a reactive balance test within the injury prevention and return to sport domain. *Arch Physiother*. 2019;9:6.
56. Dik J, Saglam M, Tekerlek H, Vardar-Yagli N, Calik-Kutukcu E, Inal-Ince D, et al. Visuomotor reaction time and dynamic balance in children with cystic fibrosis and non-cystic fibrosis bronchiectasis: A case-control study. *Pediatr Pulmonol*. 2020 Sep;55(9):2341–7.
57. Andersen LL, Jay K, Andersen CH, Jakobsen MD, Sundstrup E, Topp R, et al. Acute effects of massage or active exercise in relieving muscle soreness: randomized controlled trial. *J Strength Cond Res*. 2013 Dec;27(12):3352–9.
58. Lachin JM. Statistical considerations in the intent-to-treat principle. *Control Clin Trials*. 2000 Jun;21(3):167–89.
59. Jakobsen MD, Sundstrup E, Brandt M, Jay K, Aagaard P, Andersen LL. Effect of workplace- versus home-based physical exercise on musculoskeletal pain among healthcare workers: a cluster randomized controlled trial. *Scand J Work Environ Health*. 2015 Mar;41(2):153–63.
60. Sullivan GM, Feinn R. Using Effect Size—or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of Graduate Medical Education*. 2012 Sep;4(3):279.
61. Andrade MS, de Carvalho Koffes F, Benedito-Silva AA, da Silva AC, de Lira CAB. Effect of fatigue caused by a simulated handball game on ball throwing velocity, shoulder muscle strength and balance ratio: a prospective study. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2016 May 5 ;8.
62. Moreira-Silva I, Teixeira PM, Santos R, Abreu S, Moreira C, Mota J. The Effects of Workplace Physical Activity Programs on Musculoskeletal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Workplace Health Saf*. 2016 May;64(5):210–22.
63. Blyth FM, Briggs AM, Schneider CH, Hoy DG, March LM. The Global Burden of Musculoskeletal Pain—Where to From Here? *Am J Public Health*. 2019 Jan;109(1):35–40.
64. Steffens D, Maher CG, Pereira LSM, Stevens ML, Oliveira VC, Chapple M, et al. Prevention of Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Intern Med*. 2016 Feb 1;176(2):199–208.

65. Bayattork M, Jakobsen MD, Sundstrup E, Seidi F, Bay H, Andersen LL. Musculoskeletal pain in multiple body sites and work ability in the general working population: cross-sectional study among 10,000 wage earners. *Scandinavian Journal of Pain*. 2019 Jan 28;19(1):131–7.
66. Brown KE, Swift I, Spark MJ. Pain Severity Cut-Points and Analgesic Use by Community-Dwelling People for Chronic Pain. *Journal of Pharmacy Practice and Research*. 2012;42(3):196–9.
67. Moore RA, Straube S, Aldington D. Pain measures and cut-offs - “no worse than mild pain” as a simple, universal outcome. *Anaesthesia*. 2013 Apr;68(4):400–12.
68. Aegerter AM, Deforth M, Volken T, Johnston V, Luomajoki H, Dressel H, et al. A Multi-component Intervention (NEXpro) Reduces Neck Pain-Related Work Productivity Loss: A Randomized Controlled Trial Among Swiss Office Workers. *J Occup Rehabil*. 2022 Sep 27.
69. de Vries HJ, Reneman MF, Groothoff JW, Geertzen JHB, Brouwer S. Workers Who Stay at Work Despite Chronic Nonspecific Musculoskeletal Pain: Do They Differ from Workers with Sick Leave? *J Occup Rehabil*. 2012 Dec 1;22(4):489–502.
70. Holmström E, Engholm G. Musculoskeletal disorders in relation to age and occupation in Swedish construction workers. *Am J Ind Med*. 2003 Oct;44(4):377–84.
71. Steenstra IA, Verbeek JH, Heymans MW, Bongers PM. Prognostic factors for duration of sick leave in patients sick listed with acute low back pain: a systematic review of the literature. *Occupational and Environmental Medicine*. 2005 Dec 1;62(12):851–60.
72. Pereira MJ, Coombes BK, Comans TA, Johnston V. The impact of onsite workplace health-enhancing physical activity interventions on worker productivity: a systematic review. *Occup Environ Med*. 2015 Jun;72(6):401–12.
73. Fletcher GM, Behrens TK, Domina L. Barriers and enabling factors for work-site physical activity programs: a qualitative examination. *J Phys Act Health*. 2008 May;5(3):418–29.
74. Ryde GC, Gilson ND, Burton NW, Brown WJ. Recruitment rates in workplace physical activity interventions: characteristics for success. *Am J Health Promot*. 2013 May 1;27(5):e101-12.
75. Bishop D. Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med*. 2003;33(7):483–98.
76. Grier RA. How High is High? A Meta-Analysis of NASA-TLX Global Workload Scores. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2015 Sep 1;59(1):1727–31.
77. Luger T, Maher CG, Rieger MA, Steinhilber B. Work-break schedules for preventing musculoskeletal symptoms and disorders in healthy workers. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019 23;7:CD012886.
78. Massy-Westropp NM, Gill TK, Taylor AW, Bohannon RW, Hill CL. Hand Grip Strength: age and gender stratified normative data in a population-based study. *BMC Research Notes*. 2011 Apr 14;4(1):127.
79. Dodds RM, Syddall HE, Cooper R, Benzeval M, Deary IJ, Dennison EM, et al. Grip strength across the life course: normative data from twelve British studies. *PLoS One*. 2014;9(12):e113637.
80. Medeiros DM, Cini A, Sbruzzi G, Lima CS. Influence of static stretching on hamstring flexibility in healthy young adults: Systematic review and meta-analysis. *Physiother Theory Pract*. 2016 Aug;32(6):438–45.
81. Borges MO, Medeiros DM, Minotto BB, Lima CS. Comparison between static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation on hamstring flexibility: systematic review and meta-analysis. *European Journal of Physiotherapy*. 2018 Jan 2;20(1):12–9.

82. Aje OO, Smith-Campbell B, Bett C. Preventing Musculoskeletal Disorders in Factory Workers: Evaluating a New Eight Minute Stretching Program. *Workplace Health Saf.* 2018 Jul;66(7):343–7.
83. Behm DG, Chaouachi A. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Nov;111(11):2633–51.
84. Behm DG, Kay AD, Trajano GS, Blazevich AJ. Mechanisms underlying performance impairments following prolonged static stretching without a comprehensive warm-up. *Eur J Appl Physiol.* 2021 Jan 1;121(1):67–94.
85. Aguilar AJ, DiStefano LJ, Brown CN, Herman DC, Guskiewicz KM, Padua DA. A Dynamic Warm-up Model Increases Quadriceps Strength and Hamstring Flexibility. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2012 Apr;26(4):1130–41.
86. Sedighi S, Ma N. Temporal changes in motor variability during prolonged lifting/lowering and the influence of work experience. *J Electromyogr Kinesiol.* 2017 Sep 15;37:61–7.
87. Lindström D, Sundberg-Petersson I, Adami J, Tønnesen H. Disappointment and drop-out rate after being allocated to control group in a smoking cessation trial. *Contemporary Clinical Trials.* 2010 Jan 1;31(1):22–6.
88. Meinich Petersen S, Zoffmann V, Kjærgaard J, Graff Steensballe L, Greisen G. Disappointment and adherence among parents of newborns allocated to the control group: a qualitative study of a randomized clinical trial. *Trials.* 2014 Apr 15;15(1):126.

3.3.1. Résultats de la contribution 5

3.3.1.1. Effet sur la douleur

Premièrement, les résultats de la Contribution 5 confirment que la région lombaire semble être la zone anatomique la plus concernée par la douleur chez des ouvriers viticoles. Toutes les autres localisations interrogées atteignent une intensité de douleur moyenne proche de 0 sur une échelle de 0 à 10. Néanmoins, dans cet échantillon, même pour la région lombaire, le niveau de douleur observée avant de commencer le travail est très faible, inférieur à 2 sur une échelle de 0 à 10. Il est intéressant de noter un effet de groupe car la douleur est plus élevée dans le groupe contrôle. Il y a également un effet de temps puisque le niveau de douleur observé après les 3 premières heures de travail (T4) est statistiquement plus élevé que le niveau initial (T0) même s'il reste relativement faible selon la classification de Bayattork et coll. (Bayattork et al., 2019). La douleur augmente donc avec le travail quelle que soit la modalité.

3.3.1.2. Effet sur la performance au travail

La performance au travail était significativement plus élevée dans la modalité dynamique par rapport au groupe contrôle. Cette différence totale s'élevait à 72 pieds (14%) de vigne en 3h de travail. Les participants ont taillé en moyenne entre 140 et 175 pieds de vigne par heure, ce qui signifie que la différence de 72 pieds entre le groupe dynamique et le groupe contrôle correspond environ à 30 minutes de travail. Les participants du groupe dynamique ont ainsi plus que rattrapé le temps nécessaire à la réalisation de l'échauffement, qui est de 15 minutes.

3.3.1.3. Effet sur la fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque augmente dans les trois modalités d'échauffement pendant la réalisation des exercices avec une augmentation de manière plus importante dans la modalité dynamique. Ce résultat confirme bien que l'échauffement, quelle que soit la modalité, induit des adaptations physiologiques, se traduisant par une accélération du rythme cardiaque. Ce résultat illustre également que c'est bien la modalité dynamique qui semble avoir l'intensité la plus élevée, se traduisant par une augmentation de la FC plus importante. Cependant, comme dans la première étude interventionnelle (Contribution 3) les échauffements réalisés sur le lieu de travail ne permettent pas d'atteindre les recommandations du milieu sportif en termes d'intensité. En effet, même dans le cas de la modalité dynamique, l'échantillon n'atteint que 55% de la FCM théorique, calculée selon la formule de Gellish et coll. (Gellish et al., 2007) = $FC_{max} = 207 - 0,7 * \text{âge}$. Plusieurs revues de littérature (Bishop, 2003b; McGowan et al., 2015; Woods et al., 2007) dans le milieu sportif ont avancé l'idée qu'une intensité cible

correspondant à 40-60% de VO₂max, soit 60-75% FCMax (Swain et al., 1998, 1994), devait être atteinte pour que l'échauffement induise les adaptations physiologiques attendues.

3.3.1.4. Effet sur les perceptions

Dans cette étude, les perceptions des salariés viticoles étaient mesurées à l'aide du NASA-TLX pour la charge de travail perçue, et d'échelles numériques de 0 à 10 pour le sentiment d'être prêt à commencer le travail et la qualité de travail.

Parmi les six items du NASA-TLX, il y a une différence significative seulement pour deux d'entre eux. Premièrement, la performance perçue, autant quantitative que qualitative, était significativement plus élevée dans la modalité Stretching. Deuxièmement, la demande mentale liée à l'activité de taille de la vigne était perçue significativement comme plus faible dans le groupe Dynamique. Enfin, le score global au NASA-TLX était significativement plus faible dans le groupe dynamique par rapport au groupe contrôle, ce qui signifie que les participants du groupe dynamique avaient une charge de travail perçue plus faible.

Le sentiment d'être prêt à commencer le travail était significativement meilleur dans les modalités Hybride et Dynamique par rapport au groupe contrôle. Ce résultat correspond à celui de la Contribution 3 où un échauffement hybride avait également amélioré le sentiment d'être prêt à commencer le travail.

Enfin, la qualité de travail, évaluée par un supérieur hiérarchique ou un contrôleur qualité, était significativement plus élevée, donc meilleure, dans le groupe Stretching.

3.3.1.5. Effet sur les capacités physiques

La force de préhension, la souplesse du dos et des ischio-jambiers, la souplesse des épaules et le temps de réaction visuo-moteur étaient les capacités évaluées dans la Contribution 5. Il n'y avait aucune différence dans l'interaction entre les groupes et les temps de mesure pour toutes les variables de capacités physiques mesurées.

Pour le Fingertip-to-Floor, il y a des différences entre les groupes car la moyenne était meilleure dans le groupe Dynamique que dans les autres groupes. Concernant la souplesse des épaules, le score moyen au Back Scratch est meilleur du côté droit dans les groupes Contrôle et Dynamique par rapport au groupe Stretching et du côté gauche dans les groupes Contrôle, Dynamique et Hybride par rapport au groupe Stretching.

Enfin, les résultats au test visuo-moteur ne montrent pas de différence dans l'interaction entre les groupes et les temps de mesure pour le temps moyen, le temps total et le nombre moyen d'erreurs. Cependant, le temps total et le temps moyen étaient significativement plus élevés à T4 par rapport à T1 ce qui semble indiquer une potentielle fatigue cognitive induite par les 3h de travail avec ou sans échauffement.

3.3.1.6. Limites

Le nombre d'abandons au sein de cette étude a été plus élevé que prévu puisque parmi les 120 ouvriers viticoles randomisés, 28 n'ont finalement pas été inclus dans l'analyse statistique. Parmi ces 28 abandons, 11 personnes faisaient partie du groupe contrôle et ont souhaité quitter l'étude quand ils se sont aperçus qu'ils n'avaient pas d'échauffements avant de commencer le travail.

Partie 4. Discussion générale

L'objectif de cette thèse était de concevoir, mettre en œuvre et évaluer les effets de programmes d'échauffement destinés à prévenir ou à limiter l'aggravation des TMS dans le secteur de la viticulture.

Pour répondre à cet objectif principal, une revue systématique a dans un premier temps été conduite afin de réaliser un état des lieux de la littérature scientifique concernant les effets de programmes d'échauffement mis en œuvre sur le lieu de travail pour prévenir la survenue ou limiter l'aggravation des TMS dans le milieu professionnel (Contribution 1 et Contribution 2). Forts des conclusions et perspectives de la revue de littérature, nous avons dans un second temps, conçu et mis en œuvre une étude croisée randomisée sur 31 ouvriers viticoles, salariés de 6 propriétés différentes (Contribution 3). Les résultats prometteurs de cette première étude interventionnelle, mais contrastés concernant la douleur et les résultats de la revue de littérature nous ont orientés à tester différentes modalités d'échauffement dans une seconde étude interventionnelle. Ainsi, les objectifs de cette seconde étude (Contribution 4 et Contribution 5) étaient de comparer les effets d'une seule session de 15 minutes de trois modalités d'échauffement identifiées dans la revue systématique, à savoir « HYBRIDE », « STRETCHING » et « DYNAMIQUE » auprès de 120 ouvriers viticoles, salariés dans 10 propriétés viticoles.

4.1. Apports scientifiques de la thèse

4.1.1. Des échauffements en entreprise peu étudiés dans la littérature scientifique

Depuis quelques années, l'activité physique sur le lieu de travail occupe une place de plus en plus importante (Coury et al., 2009; Lowry et al., 2017; Moreira-Silva et al., 2016; Sundstrup et al., 2020). L'activité physique pratiquée sur le lieu de travail, et notamment les programmes de renforcement musculaire, a démontré des effets positifs sur les capacités physiques (Marin-Farrona et al., 2023), les fonctions psychologiques (Bordado Sköld et al., 2019), la douleur (Chen et al., 2018; Moreira-Silva et al., 2016) et in fine sur la santé des travailleurs. La revue systématique de Marin-Ferrona et coll., publiée en 2023, témoigne de l'intérêt croissant de la recherche scientifique pour l'AP sur le lieu de travail (Marin-Farrona et al., 2023). En effet, avec des critères plutôt restrictifs (études randomisées contrôlées, performance au travail et variables de santé utilisées comme variables primaires), les auteurs ont identifié et inclus 16 études. Ces auteurs ont observé que l'habileté au travail était la variable la plus impactée

positivement par des programmes d'activité physique sur le lieu de travail. Grimani et coll. (Grimani, 2019) ont également décrit des effets positifs sur des variables comme la performance au travail ou l'absentéisme dans une revue systématique incluant 39 études.

Les entreprises majoritairement réticentes il y a une dizaine d'années ont évolué sur la question de l'AP pratiquée sur le lieu de travail. Aujourd'hui, proposer à ses salariés une activité physique sur son lieu de travail est devenu pour beaucoup d'entre elles un moyen de se distinguer de la concurrence, de recruter et de fidéliser des salariés et in fine d'améliorer la qualité de vie au travail. Le nombre d'articles scientifiques sur le sujet est d'ailleurs en constante augmentation permettant aujourd'hui d'apprécier de manière aussi bien quantitative que qualitative les bienfaits de la promotion de l'activité physique sur le lieu de travail (Grimani, 2019; Marin-Farrona et al., 2023; Pereira et al., 2015). Malgré des résultats encourageants (Coury et al., 2009; Lowry et al., 2017; Moreira-Silva et al., 2016; Sundstrup et al., 2020), il existe encore de nombreuses barrières qui freinent la mise en place de ce type de programme (Genin et al., 2018; Robroek et al., 2009). Par exemple, nombreux sont les auteurs qui mentionnent le manque de temps, l'absence d'infrastructure et le coût comme des obstacles importants (Andersen and Zebis, 2014; Dalager et al., 2015). Aussi, la mise en place d'échauffements sur le lieu de travail présente sur le papier de nombreux avantages pour lever certaines de ces barrières (notamment le manque de temps et d'infrastructures). L'abondance de communications non-scientifiques sur la mise en place de cette pratique va d'ailleurs dans ce sens³.

Aussi, nous avons fait l'hypothèse qu'une pratique aussi répandue dans les entreprises serait largement étudiée dans la littérature scientifique. Pour autant, la revue systématique de la littérature que nous avons réalisée a mis en lumière l'absence de validation scientifique de cette intervention sur des variables associées aux TMS (douleurs, capacités physiques...). Malgré des critères d'inclusion volontairement peu restrictifs (inclusion des études non randomisées, variables sur les fonctions physiques et psychologiques) seulement 3 études ont été incluses dans cette revue : (1) Holmström et Ahlborg 2005, (2) Gartley et Prosser 2011 et (3) DiStefano et coll. 2016 (DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005).

³ (<https://www.ouest-france.fr/economie/entreprises/bien-etre-au-travail/salon-safexpo/kine-du-travail-faut-il-s-echauffer-au-boulot-6543508>, (<https://www.francebleu.fr/infos/insolite/saint-etienne-cinq-minutes-d-echauffement-pour-les-salaries-d-ikea-avant-de-se-mettre-au-travail-1490720298>), (<https://www.lavoixdunord.fr/232169/article/2017-10-02/chez-dhl-seance-d-echauffement-pour-les-salaries-avant-le-boulot>), (https://www.ch-centre-bretagne.fr/?page_id=3104)

Ces 3 études présentent en plus un risque de biais modéré à important ainsi qu'une grande hétérogénéité aussi bien des populations étudiées que des variables mesurées. Une description plus détaillée de ces 3 études est présentée ci-dessous.

4.1.1.1. Population

La grande hétérogénéité de ces études, en termes de population et d'intervention, est un autre résultat limitant la conclusion quant à l'efficacité d'un échauffement sur le lieu de travail. En effet, Gartley et Prosser (Gartley and Prosser, 2011) ont recruté un total de 79 travailleurs (36 salariés manutentionnaires, 24 ouvriers dans une fonderie et 18 livreurs), l'étude de DiStefano et coll. (DiStefano et al., 2016) a été réalisée auprès de 1104 jeunes recrues de l'armée américaine et enfin l'étude d'Holmström et Ahlborg (Holmström and Ahlborg, 2005) a évalué l'effet d'un échauffement auprès de 47 ouvriers du bâtiment. Ces secteurs présentent tous des contraintes et des contextes différents mais ont pour point commun d'être des secteurs où la charge de travail physique est importante. Cette observation peut étonner car les premières études sur l'activité physique sur le lieu de travail se sont principalement concentrées sur le secteur administratif (Abdin et al., 2018; Chen et al., 2018). Il est en effet plus facile de mettre en place des études visant à prévenir les TMS dans le secteur tertiaire (services) plutôt que dans les secteurs primaires (ressources naturelles) et secondaires (industrie et construction) (Garne-Dalgaard et al., 2019; Safi et al., 2022). Ce phénomène peut aussi s'expliquer par le fait que dans les sociétés occidentales modernes, le secteur tertiaire représente 75% des actifs (Insee 2018). En France, les secteurs primaires et secondaires représentent donc seulement environ 25% des actifs avec respectivement 2,5 % pour l'agriculture, 13,3% pour l'industrie et 6,7% pour la construction. Cependant, toujours en France, les secteurs primaires et secondaires représentent selon l'Assurance Maladie environ 50% des accidents du travail, témoignant des contraintes physiques importantes inhérentes à ces secteurs. Des auteurs ont tenté d'expliquer pourquoi la mise en œuvre d'études scientifiques semble plus difficile dans certains secteurs d'activité. Une culture de la résistance à de nouveaux programmes ou outils a ainsi été identifiée par Boatman et coll. et Glimskär et Lundberg dans le secteur de la construction (Boatman et al., 2015; Glimskär and Lundberg, 2013). Cette culture conduit à abandonner très rapidement une activité ou un outil s'il n'est pas très simple à utiliser dès le début. De plus, Boatman et coll. (Boatman et al., 2015) a réalisé des interviews auprès de travailleurs du bâtiment et a identifié une volonté de ces ouvriers de projeter une image « dure » comme une barrière pour rapporter d'éventuelles douleurs. Un environnement de travail changeant, présent dans des secteurs comme la construction où l'agriculture, représente

également un frein à la mise en place d'interventions pour prévenir les TMS (Yazdani and Wells, 2018). Cependant, les rares études sur les échauffements se sont directement tournées vers des métiers physiques (Aje et al., 2018; Balaguier et al., 2017b; DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005). Ce résultat peut s'expliquer par le fait que l'échauffement présente des caractéristiques (durée faible, exercices simples, supervision par indispensable) qui favorisent sa mise en œuvre.

4.1.1.2. Intervention

Dans un second temps, cette revue de littérature a permis d'identifier 3 modalités d'échauffement différentes (stretching, dynamique et hybride). De manière intéressante, ces 3 modalités sont également les modalités les plus fréquemment retrouvées dans le milieu sportif (Bishop, 2003b; McCrary et al., 2015; McGowan et al., 2015). Dans l'étude de Gartley et Prosser, la modalité stretching s'articule autour de 9 exercices d'étirements maintenus 10 à 15 secondes (Gartley and Prosser, 2011). Les étirements de la modalité stretching sont des étirements passifs qui présentent l'avantage d'être faciles à réaliser et présentent peu de risques de blessure ou d'accident (Yamaguchi and Ishii, 2005). Dans l'étude de DiStefano et coll. (DiStefano et al., 2016), la modalité dynamique se compose de 9 exercices dynamiques, mettant en mouvement le corps dans son ensemble par la contraction de grands groupes musculaires comme les quadriceps, les fessiers ou les muscles stabilisateurs du tronc. Cet échauffement est celui qui se rapproche le plus des échauffements observés en sport (Aguilar et al., 2012; Ehlert and Wilson, 2019; Hammami et al., 2018) avec des exercices dynamiques, parfois issus du renforcement musculaire mais réalisés au poids du corps (squat, fentes, gainage) et avec une attention particulière portée à l'équilibre et la proprioception. La modalité hybride quant à elle, implémentée dans l'étude d'Holmström et Ahlborg (Holmström and Ahlborg, 2005), combine des exercices dynamiques des membres inférieurs, des membres supérieurs et du tronc avec des exercices d'étirements. Comme évoqué précédemment, les échauffements sur le lieu de travail, quelle que soit la modalité, ont pour vocation d'être accessibles et faciles à réaliser et sont donc généralement constitués d'exercices simples, ce qui facilite leur mise en place (Boatman et al., 2015; Glimskär and Lundberg, 2013; Yamaguchi and Ishii, 2005).

Bien que présentant des caractéristiques différentes, notamment au niveau des exercices qui les constituent, les modalités d'échauffement présentées dans les 3 articles retenus de notre revue ont des points communs (DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005). Le premier concerne la durée d'une session d'échauffement. En effet, les

3 études incluses dans la Contribution 2 proposent aux salariés une durée d'échauffement assez courte, i.e. entre 6 et 10 minutes. La durée proposée est ainsi inférieure aux recommandations du milieu sportif qui (Bishop, 2003b; McCrary et al., 2015; McGowan et al., 2015) indiquent que des durées comprises en 10 et 15 minutes permettent de maximiser les effets des échauffements. Le peu d'effet positif de l'échauffement sur les capacités physiques et la douleur, observé notamment dans l'étude d'Holmström et Ahlborg (Holmström and Ahlborg, 2005) peut ainsi s'expliquer par la courte durée de l'échauffement mis en place.

Les 3 études retenues dans la Contribution 2 (DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005) évaluent toutes les trois les effets d'un programme d'échauffement réalisé plusieurs fois par semaine pendant plusieurs semaines. Le programme d'échauffement est mis en œuvre 2 à 3 fois par semaine pendant 6 semaines dans l'étude de DiStefano et coll. (DiStefano et al., 2016) et tous les jours pendant 12 semaines dans les études de Holmström et Ahlborg 2005 et Gartley et Prosser 2011 (Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005). Dans la littérature scientifique, les études (Andersen et al., 2016; Beemster et al., 2015; Kuoppala et al., 2008) évaluent généralement les effets de programmes durant plusieurs semaines lorsque le taux d'accident de travail est une des variables mesurées. C'est notamment le cas des 3 études incluses dans la Contribution 2 (DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005).

Ensuite, dans les 3 études incluses (DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005), le taux de présence aux échauffements est supérieur à 80%. Ce taux comparé aux études qui mettent en place des programmes d'activité physique sur le lieu de travail est considéré comme bon voire excellent (Coenen et al., 2020; Dalager et al., 2015; Kwak et al., 2006). Ce taux de présence élevé peut s'expliquer en partie par les raisons suivantes. Tout d'abord, dans le milieu professionnel plusieurs auteurs ont montré qu'une durée de pratique inférieure à 15 minutes était intéressante pour obtenir une adhésion plus importante des participants (Dalager et al., 2015; Genin et al., 2018). Ensuite, dans les 3 études incluses, les échauffements sont supervisés par des spécialistes en AP (DiStefano et al., 2016), des superviseurs (Gartley and Prosser, 2011) ou des travailleurs ayant été entraînés à la conduite d'un échauffement (Holmström and Ahlborg, 2005). La supervision des séances d'AP, particulièrement sur le lieu de travail, a été identifiée comme un facteur favorisant l'adhésion aux programmes des participants (Dalager et al., 2015; Holloway, 1995). La supervision permet d'observer un taux de présence élevé et de maintenir les participants

engagés dans un programme (Dalager et al., 2015). De plus, les programmes supervisés présentent des taux de présence plus élevés et ont de meilleurs résultats dans l'amélioration des capacités physiques (Dalager et al., 2015; Holloway, 1995; Pereira et al., 2015). La supervision semble être encore plus importante pour les salariés les plus âgés afin de stimuler leur motivation et de promouvoir l'activité physique (Lacroix et al., 2017; Prieske et al., 2019). Par exemple, parmi des personnes de plus de 60 ans, Stathi et coll. a observé un taux de présence de 93% pour les participants ayant réalisé des séances d'AP supervisées et de 85% pour les participants ayant réalisé les séances en autonomie (Stathi et al., 2010). Dalager et coll. observe que les personnes non supervisées ont tendance à abandonner plus tôt la réalisation des séances d'AP (Dalager et al., 2015). En effet, dans un programme d'AP de 20 semaines avec 3 séances par semaine, les participants du groupe non supervisé avec un temps médian d'abandon du programme 3 semaines plus tôt que les participants du groupe supervisé (Dalager et al., 2015). Ils suggèrent ainsi que le rôle de la supervision pour maintenir les participants en séance au fil des semaines est non négligeable d'autant plus que les personnes qui abandonnent un programme d'AP sont souvent ceux qui en ont le plus besoin (Genin et al., 2018).

En plus d'être constituées d'exercices simples, les trois études identifiées dans la Contribution 2, mettent en œuvre un échauffement réalisé debout et sans matériel. L'absence de matériel requis constitue un autre facteur favorisant la réalisation de l'échauffement par rapport à d'autres programmes d'AP dans les entreprises (Planchard et al., 2018). Ces aspects pratiques peuvent également jouer un rôle dans le taux de présence observé dans les études incluses dans la Contribution 2 (DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005).

4.1.1.3. Variables

Dans les études visant à prévenir les TMS, il est important d'évaluer la douleur avec des outils comme les questionnaires de type « nordique » ou les échelles visuelles ou numériques d'évaluation de la douleur (Bombardier, 2000; Chapman et al., 2011; Descatha et al., 2007; Lotter et al., 2021). Ces outils subjectifs ou semi-objectifs sont pratiques, utilisables *in situ* et présentent une bonne fiabilité. Dans les études incluses dans la Contribution 2, seule celle d'Holmström et Ahlborg (Holmström and Ahlborg, 2005) a évalué l'intensité de douleur avec un questionnaire inclus dans un outil appelé le « Back Pain Monitor ». Dans ce questionnaire, la douleur était évaluée avec quatre échelles et un score global de 0 à 36 (Holmström and Ahlborg, 2005). Bien que ce questionnaire soit pertinent, il n'a été que peu utilisé dans des

recherches scientifiques et n'a même pas été identifié comme questionnaire d'évaluation de la douleur dans la revue d'Haefeli et Elfering (Haefeli and Elfering, 2006).

Les études de Gartley et Prosser (Gartley and Prosser, 2011) et de DiStefano et coll. (DiStefano et al., 2016) se sont plutôt intéressées au taux de blessures. Gartley et Prosser (Gartley and Prosser, 2011) ont comparé le nombre de TMS nouvellement déclarés dans le groupe intervention pendant le programme d'échauffement avec le nombre de blessures observés à la même époque l'année précédente sur l'ensemble de la population éligible. Ce mode de comparaison pose deux problèmes majeurs pour la validité des résultats de cette étude. Premièrement, dans des secteurs comme l'industrie et le transport de marchandises, où le turnover est très important (Bao et al., 2020), la population éligible n'est pas la même d'une année à l'autre (Gartley and Prosser, 2011). De plus, les auteurs mentionnent des changements dans les conditions de travail qui auraient pu avoir un impact sur le risque de blessures (Gartley and Prosser, 2011). Deuxièmement, l'inclusion dans le groupe intervention s'est faite sur la base du volontariat et avec pour critère d'inclusion l'absence de douleur. Ces deux critères laissent à penser que ce ne sont pas les personnes qui auraient le plus bénéficié du programme qui ont été incluses dans le groupe intervention (Genin et al., 2018). Les résultats en termes de taux de blessure vont dans ce sens puisque la différence observée pendant le programme d'échauffement (Risque Relatif d'être blessé = 6,70 pour la population éligible versus 0,14 pour les participants au programme) était déjà présente l'année précédente (Risque Relatif d'être blessé = 5,13 pour la population éligible versus 0,19 pour les participants au programme). DiStefano et coll. (DiStefano et al., 2016) ont mesuré le taux de blessure des membres inférieurs pendant 8 mois après une intervention de 6 semaines en échauffement. Les auteurs n'observent pas de différence du taux de blessures entre les groupes mais mettent en avant que le taux de blessure le plus élevé pour les deux groupes intervention se situe entre 6 à 8 mois après l'intervention. Ces résultats mènent les auteurs à faire l'hypothèse que (1) l'échauffement limite le risque de blessure et que (2) l'intervention doit être réalisée plus longtemps voire maintenue tout au long de l'année pour conserver ces éventuels effets protecteurs.

4.1.1.4. Nouvelle recherche et comparaison avec les Contributions 3 et 5

Notre revue de littérature étant soumise depuis 2021, il nous paraissait important de réaliser une nouvelle recherche sur la base des critères d'inclusion de notre revue. En ce sens, une nouvelle recherche réalisée en juin 2023 n'a pas permis d'identifier de nouvelles références

autres que celles déjà incluses ou les contributions réalisées pendant ce travail doctoral. Le Tableau 1 compare les caractéristiques des programmes d'échauffement identifiés dans la Contribution 2 avec les études interventionnelles de ce travail doctoral, à savoir les Contributions 3 et 5.

Pris dans leur globalité, les Contributions 1 et 2 de ce travail doctoral ont ainsi rapporté que peu d'études sur les effets d'un échauffement sur les TMS avaient été mises en œuvre en entreprise. De plus, aucune étude n'a jusqu'alors été réalisée dans le secteur agricole, un secteur particulièrement touché par les TMS. Ce résultat souligne l'intérêt de concevoir, mettre en place et évaluer les effets de ce type de programme en agriculture, secteur d'activité particulièrement touché par la problématique des TMS et jusque-là peu ou pas étudié.

Etudes	DiStefano et al, 2016	Gartley et Prosser, 2011	Holmström et Ahlberg, 2005	Larinier et al, 2023	Larinier et al, 2023
Design	Randomisé en grappes	Non Randomisé	Non Randomisé	Randomisé croisé	Randomisé en grappes
Pays	Etats-Unis	Etats-Unis	Suède	France	France
Secteur d'activité	Académie militaire	Entrepôt Fonderie Livraison	Construction	Viticulture	Viticulture
Participants	1104	79	47	31	92
Age moyen	17-22 ans	Fonderie : 57,3 ans Entrepôt : 44,5 ans Chauffeurs : 49,3 ans Total : 50,4 ans	GI : 39,7 (±11,8) ans GC : 39,8 (±15,4) ans	40,1 (±10,6) ans	GC : 37,27 (±11,05) Groupe hybride : 39,96 (±11,21) Groupe stretching : 39,93 (±11,83) Groupe dynamique : 35,00 (±11,87)
Genre	928 hommes (84%) 176 femmes (16%)	78 hommes (98,7%) 1 femme (1,3%)	47 hommes (100%)	15 hommes (48%) 16 femmes (52%)	GC : 11 Hommes (73,3%) 4 Femmes (26,7%) Groupe hybride : 15 Hommes (60%) 10 Femmes (40%) Groupe stretching : 23 Hommes (85,2%) 4 Femmes (14,8%) Groupe dynamique : 20 Hommes (80%) 5 Femmes (20%)
Comparaison	GI1: Groupe DIME n = 4 compagnies d'environ 135 soldats chacune GI2: Groupe SWU n = 4 compagnies d'environ 135 soldats chacune	GI: Participants au programme (Fonderie + Entrepôt + Chauffeurs) n = 79 GC: Population éligible n = 1248	GI: n = 30 GC: n = 17	31 personnes dans un seul groupe en cross-over	GC : n = 15 Groupe hybride : n = 25 Groupe stretching : n = 27 Groupe dynamique : n = 25

Etat de santé	Sans douleur	Sans douleur	Sans douleur	<ul style="list-style-type: none"> - Entre 18 et 60 ans - Pas d'opération au niveau du rachis dans les 12 derniers mois - Travail à temps plein - >1 an d'ancienneté 	<ul style="list-style-type: none"> - Entre 18 et 60 ans - Pas d'opération au niveau du rachis dans les 12 derniers mois - Travail à temps plein - >1 an d'ancienneté
Abandons	0	16 /95 (17%) 1 WMSD	10/57 (17,5%) GI = 7 exclus or abandons GC = 3 abandons	0	28/120 (23%) GC : 11 abandons 4 ont changé d'entreprise Groupe hybride : 3 ont changé d'entreprise 2 absents Groupe stretching : 2 ont changé d'entreprise 1 absent Groupe dynamique : 4 ont changé d'entreprise 1 absent
Modalité échauffement	Dynamique	Stretching	Hybride	Hybride	1. Hybride 2. Stretching 3. Dynamique
Caractéristiques du programme	Exercices dynamiques Exercices de renforcement Exercices d'agilité	Etirements passifs	Exercices dynamiques Etirements passifs	Exercices dynamiques Etirements passifs	1. Exercices dynamiques Etirements passifs 2. Etirements passifs 3. Exercices dynamiques
Supervision	2 compagnies du GII ont été supervisées par un officier et les 2 autres par un expert	Entrepôt: Supervisé par un spécialiste en étirements pendant la première semaine et par les superviseurs pendant le reste du programme Fonderie: Sans supervision Chauffeurs:	Supervisé par un salarié formé à l'échauffement	Supervisé par un Master STAPS APA spécialisé en TMS	Supervisé par un Master STAPS APA spécialisé en TMS

		Sans supervision			
Durée du programme	6 semaines	3 mois	3 mois	2 jours (2*1h)	1 jour (3h)
Fréquence	2 à 3 fois par semaine	Tous les matins	Tous les matins	Une seule session	Une seule session
Durée de l'échauffement	10 min	6 min	10 min	15 min	15 min
Variable douleur	Blessure des membres inférieurs avec le CIITS	Taux de blessure	Un questionnaire inclus dans le Back Pain Monitor package system	Intensité de douleur perçue évaluée avec une échelle numérique de 0 à 10	Intensité de douleur perçue évaluée avec une échelle numérique de 0 à 10
Effet sur la douleur	<p>Pas de différences significatives</p> <p>1. POST2M Groupe DIME = 5,22 Groupe SWU = 5,97 RR (95% CI) = 0,97 (0,50-1,90)</p> <p>2. POST4M Groupe DIME = 2,17 Groupe SWU = 2,87 RR (95% CI) = 0,84 (0,30-2,36)</p> <p>3. POST6M Groupe DIME = 3,48 Groupe SWU = 5,73 RR (95% CI) = 0,67 (0,31-1,48)</p>	<p>Différence significative entre le GC à T1 et le GI à T2; et le GC à T2 et le GI à T2</p> <p>1. GC (T1) = 6,5% (51/785) RR = 5,13</p> <p>2. GI (T2) = 1,3% (1/79) RR = 0,14</p> <p>3. GC (T2) = 8,5% (106/1248) RR = 6,70</p>	<p>Pas de différences significatives</p> <p>1. GI avant = 3,0 (16,0) 2. GI après = 2,0 (17,0) 3. GC avant = 0,0 (19,0) 4. GC après = 1,0 (17,0)</p>	<p>Douleur à T2 plus élevée qu'à T1 dans les deux conditions</p>	<p>Douleur à T4 plus élevée qu'à T0 (p<0,05) Douleur à T3 et T4 plus élevée qu'à T1 (p<0,05)</p> <p>Pas d'effet de l'échauffement sur la douleur</p>
Capacités physiques	Force Maximale de Réaction au Sol (VGRF)	Pas évalué	<p>1. Mobilité du rachis et des membres</p> <p>2. Souplesse musculaire</p> <p>3. Force</p> <p>4. Endurance musculaire du tronc et des membres</p>	Fréquence Cardiaque	<p>1. Fréquence Cardiaque</p> <p>2. Force de préhension</p> <p>3. Souplesse des ischio-jambiers</p> <p>4. Souplesse des épaules</p> <p>5. Temps de réaction visuo-moteur</p>

Effets sur les capacités physiques	Plus grande diminution dans le pic de VGRF (% de la masse corporelle) dans le groupe DIME comparé au groupe SWU 1. POST2M vs PRE: Groupe SWU = $-0,13 \pm 0,82$ (-0,29 à 0,03) Groupe DIME = $-0,62 \pm 0,91$ (-0,87 à -0,37) (p<0,05) 2. POST4M vs PRE: Groupe SWU = $-0,15 \pm 0,98$ (-0,32 à 0,02) Groupe DIME = $-0,46 \pm 0,64$ (-0,71 à -0,21) (p<0,05) 3. POST6M vs PRE: Groupe SWU = $-0,04 \pm 0,96$ (-0,25 à 0,17) Groupe DIME = $-0,53 \pm 0,83$ (-0,79 à -0,27) (p<0,05)	N/A	1. Effet positif significatif (p<0,05) de la flexion thoracique dans le GI (86 à 90 deg) et de la flexion du tronc dans le GI (63 à 66 deg) GI vs GC : différences significatives après l'intervention (p<0,001) 2. Effet positif significatif (p<0,001) sur la souplesse des ischios-jambiers dans le GI (54 à 66 dx deg) GI vs GC : différences significatives après l'intervention (p<0,001) Effet positif significatif sur la souplesse des quadriceps (p<0,01) dans le GI (-10 à -17 dx deg) GI vs GC : différences significatives après l'intervention (p<0,01) 3. Effet positif significatif (p<0,05) sur la force de la jambe gauche dans le GI (38 à 40 sin(no)) mais pas de différence significative entre les groupes 4. Pas d'effect significatif sur l'endurance musculaire du dos dans le GI (153 à 153s) mais diminution significative (p<0,01) dans le GC (171 à 140s) GI vs GC : différences significatives après l'intervention (p<0,01)	Augmentation significative (p<0,001) de la FC après un échauffement	1. Augmentation significative (p<0,05) de la FC après un échauffement Augmentation plus importante (p<0,001) dans la modalité dynamique 2. Pas de différence significative 3. Pas de différence significative 4. Pas de différence significative 5. Temps total et temps moyen plus élevés à T4 qu'à T1 (p<0,05) Nombre d'erreurs plus élevé à T0 qu'à T1 et T4 (p<0,05)
---	---	-----	--	---	--

Capacités psychosociales	Pas évalué	Pas évalué	Pas évalué	1. Sentiment d'être prêt à commencer le travail 2. Qualité de travail perçue 3. Habilité au travail perçue	1. Sentiment d'être prêt à commencer le travail 2. Qualité de travail perçue 3. Charge de travail évaluée avec le NASA-TLX
Effets sur les capacités psychosociales	N/A	N/A	N/A	1. Plus élevée après l'échauffement ($p < 0,01$) 2. Pas de différence 3. Plus élevée après l'échauffement ($p < 0,05$)	1. Plus élevé dans le groupe dynamique ($p < 0,05$) et le groupe hybride ($p < 0,01$) 2. Plus élevée dans le groupe stretching 3. Charge mentale plus faible dans le groupe dynamique que dans le groupe stretching Performance perçue plus élevée dans le groupe stretching par rapport au GC Score globale plus faible dans le groupe dynamique par rapport au GC

Tableau 1. Tableau récapitulatif des 3 études incluses dans la Contribution 2 et des 2 études interventionnelles de ce travail doctoral (Contribution 3 et 5)

GI : Groupe Intervention ; GC : Groupe Contrôle ; DIME: Dynamic Integrated Movement Enhancement ; SWU: Standard Warm Up ; CIITS: Cadet Illness and Injury Tracking System; VGRF: Vertical Ground-Reaction Force ; POST2M: 2 months after intervention ; POST4M: 4 months after intervention ; POST6M: 6 months after intervention ; PRE: immediately before intervention ; RR: Risque Relatif

4.1.2. La modalité d'échauffement hybride a des effets positifs sur la performance et les perceptions liées au travail chez des salariés viticoles

À la lecture de la revue de littérature, ni la quantité (n=3) (DiStefano et al., 2016; Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005), ni la qualité des articles sélectionnés ne permettent de dresser des conclusions quant aux effets des échauffements sur les variables associées aux TMS. Les résultats de la revue ne permettent pas non plus de dresser une feuille de route pour la mise en œuvre de futures études. Pour ces raisons, nous avons décidé dans la Contribution 3 de nous intéresser à une des 3 modalités identifiées dans la revue de littérature à savoir la modalité d'échauffement hybride. Ce choix a été motivé par une analyse de la littérature grise (Schöpfel, 2015) qui nous a permis d'identifier que cette modalité combinant des exercices dynamiques et des exercices d'étirements, était certainement la modalité la plus utilisée en entreprise⁴, notamment dans les entreprises viticoles⁵. Cette modalité d'échauffement est également une des 3 modalités identifiées dans la revue de littérature (Contribution 2), et plus précisément dans l'étude d'Holmström et Ahlborg (Holmström and Ahlborg, 2005) réalisée auprès d'ouvriers du bâtiment suédois. Enfin, Balaguier et coll. ont utilisé la modalité hybride dans son programme d'AP sur le lieu de travail pour prévenir les TMS au sein de salariés viticoles (Balaguier et al., 2017b).

La Contribution 3 avait ainsi pour objectif d'évaluer les effets immédiats d'un programme d'échauffement sur le lieu de travail, de type « Hybride », sur l'intensité des douleurs, la fréquence cardiaque, la performance au travail et les perceptions. En d'autres termes et surtout dans le cadre d'une thèse CIFRE, la question était de savoir si nous étions en mesure d'apporter des indicateurs objectifs qui pourraient encourager la pratique d'un programme d'échauffement sur le lieu de travail, de type « Hybride ». Pour répondre à cette question, trente et un salariés du secteur viticole ont ainsi été recrutés dans cette étude croisée randomisée, où chaque participant a réalisé son activité professionnelle après un échauffement « Hybride » et « sans échauffement » dans un ordre aléatoire. Les résultats de cette contribution ont permis d'apporter un éclairage à plusieurs niveaux. Tout d'abord, les résultats de Contribution 3 semblent indiquer que proposer des exercices d'échauffement qui mobilisent la région du rachis lombaire est particulièrement indiqué pour cette population.

⁴ (<https://www.synpeak.com/echauffement-travail-reveil-musculaire-entreprise/> ; <http://www.st2mt.fr/wp-content/uploads/2020/02/PLAQUETTE-ECHAUFFEMENTS-ET-ETIREMENTS-A-SON-POSTE-DE-TRAVAIL.pdf> ; <https://www.c3s.fr/echauffements-au-travail/> ; <https://inforisque.fr/fiches-pratiques/Echauffements-musculaires-entreprise.php>)

⁵ (<https://ssa.msa.fr/wp-content/uploads/2021/03/Echauffement-avant-la-mise-au-travail-1.pdf>)

En effet, nos résultats montrent que la région lombaire est la région anatomique la plus concernée par les douleurs dans cette population. Ce premier résultat correspond d'une part au fait que les troubles concernant la région lombaire sont les troubles les plus fréquents et les plus coûteux en viticulture (MSA. Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles. Bilan national 2012-2016). D'autre part, plusieurs auteurs ont mis en avant que la région lombaire était la zone anatomique avec les contraintes biomécaniques les plus importantes en viticulture, notamment pendant l'activité de taille (Bernard et al., 2011; Brumitt et al., 2010; Meyers et al., 2004). Les résultats de cette étude ont également confirmé que les activités réalisées par les salariés de ce secteur augmentaient l'intensité des douleurs perçues. Ce second résultat va dans le même sens que l'étude pilote de Balaguier et coll. (Balaguier et al., 2014) où une augmentation significative de la douleur avait été observée après une journée de taille de la vigne chez 11 vignerons. Cependant, cette augmentation de la douleur durant la première heure de travail est similaire avec ou sans réalisation d'un échauffement, ce qui ne semble pas indiquer un effet protecteur ou antalgique de l'échauffement.

Ensuite, cette étude a démontré que la fréquence cardiaque augmentait tout au long de la réalisation des exercices d'échauffement de la modalité hybride. De façon intéressante, cette augmentation de la FC permet aux salariés d'atteindre la FC moyenne observée au cours de l'activité de travail réalisée sans échauffement. Dans le monde sportif, il est recommandé d'atteindre dans les 10 à 15 minutes d'échauffement une intensité d'exercice équivalente à 40 à 60% de la VO₂max (Bishop, 2003b; Woods et al., 2007). Selon Swain et coll. la relation entre la VO₂max et la FCMax permet de définir une zone cible de l'échauffement située entre 60 et 75% de la FCMax (Swain et al., 1994). Cette intensité est nécessaire pour que l'athlète puisse réaliser une performance qui soit la meilleure possible (Fradkin et al., 2010; McCrary et al., 2015; McGowan et al., 2015) généralement à des niveaux d'intensité maximum. À l'inverse, dans le milieu professionnel, aucune recommandation n'a été établie sur l'intensité cible de l'échauffement. Pour autant, la Contribution 3 de cette thèse apporte des pistes de réflexion intéressantes. Lors de l'échauffement, la FC moyenne était de 52% de la FCMax théorique pour les salariés, ce qui la situe en dessous des recommandations du milieu sportif. Pour autant, les 31 salariés viticoles ont en moyenne taillé sur la première heure de travail environ 11 pieds de vigne en plus (+6,6 %) le jour où ils se sont échauffés par rapport au jour sans échauffement. En d'autres termes, dans un contexte professionnel, nos résultats montrent, pour la première fois, qu'une unique session d'échauffement permet d'augmenter

sur la première heure de travail la performance des salariés même si la FC atteinte est légèrement inférieure aux recommandations sportives. Ce résultat est d'autant plus intéressant qu'aucune augmentation de l'intensité des douleurs perçues par le salarié n'est observée. Les salariés ont ainsi un meilleur rendement sans pour autant avoir une intensité de douleur plus importante après un échauffement.

Enfin, la Contribution 3 de cette thèse permet d'apprécier pour la première fois l'effet d'un échauffement au travail au niveau psychologique. Concernant les perceptions, le sentiment d'être prêt à commencer le travail et la qualité de travail perçue augmentent significativement lorsque les salariés réalisent un échauffement. Il est particulièrement intéressant d'identifier un effet psychologique de l'échauffement dans un but de prévention des TMS. Plusieurs études ont montré le lien entre les TMS et les facteurs de risque psychosociaux (López-González et al., 2021; Menzel, 2007). Il semblerait en effet que certains facteurs, comme le manque d'autonomie ou le manque de soutien hiérarchique augmentent le risque de développer des TMS. En viticulture, Bernard et coll. (Bernard et al., 2011) ont par exemple montré qu'une faible latitude décisionnelle était un des risques psychosociaux auxquels les ouvriers viticoles sont fréquemment exposés. Bien que le lien entre des indicateurs tels que le sentiment d'être prêt à commencer le travail ou la qualité de travail avec les facteurs de risque psychosociaux reste à établir, ces effets positifs observés sont prometteurs. L'effet psychologique de l'échauffement a été également associé à une amélioration de la performance. Massey et coll. (Massey et al., 1961) ont ainsi observé que des sujets en état d'hypnose pendant la réalisation d'un échauffement, afin qu'ils n'aient aucun souvenir de celui-ci, n'ont connu aucune amélioration de leur performance. À l'inverse, des athlètes qui ont simplement imaginé réaliser un échauffement ont amélioré leur performance d'agilité et de sprint (Rumeau et al., 2023).

Pour conclure, cette étude a mis en évidence des effets positifs d'une seule session d'échauffement sur la FC, les perceptions et la performance au travail chez des salariés viticoles. Cette étude a également permis d'observer une augmentation de la douleur, notamment au niveau lombaire, pendant l'activité de taille de la vigne.

4.1.3. La modalité d'échauffement Dynamique est celle qui a le plus d'effets sur la performance, la fréquence cardiaque et les perceptions chez des salariés viticoles

Après avoir mesuré les effets de la modalité hybride, modalité la plus répandue dans le monde professionnel, nous avons pour ambition de déterminer si cette modalité était la plus efficace. Pour cela, nous avons décidé dans nos Contribution 4 et Contribution 5 de comparer les 3 modalités identifiées dans notre revue de littérature. Dans cette seconde étude interventionnelle, nous avons repris les variables utilisées dans la Contribution 3 (la douleur, la performance au travail, la fréquence cardiaque, le sentiment d'être prêt à commencer le travail, la qualité de travail) que nous avons complétées avec la force de préhension, la souplesse, la charge de travail perçue, et les capacités visuo-motrices. Au final, 92 participants, issus de 10 propriétés viticoles, ont été inclus dans l'analyse. Ces derniers étaient répartis en 4 groupes : (1) échauffement hybride, (2) échauffement stretching, (3) échauffement dynamique et (4) groupe contrôle.

Les résultats de cette seconde étude interventionnelle ont tout d'abord permis de corroborer certains résultats observés dans la Contribution 3. En effet, cette étude a confirmé que l'activité professionnelle des vignerons semble augmenter l'intensité de leurs douleurs et que l'ensemble des modalités d'échauffement ne diminuait pas l'intensité des douleurs perçues. Nous reviendrons dans le paragraphe « Limites » (Page 201 du manuscrit) sur les raisons qui peuvent expliquer ce résultat. Le niveau de douleur observé pendant les 3 premières heures de travail est considéré comme faible à modéré (< 5 sur 10 en moyenne) selon la classification de Bayattork et coll. (Bayattork et al., 2019). La région lombaire est la seule localisation avec une douleur supérieure à 2 sur 10 avant de commencer le travail pour les quatre groupes (entre $2,04 \pm 2,58$ et $3,60 \pm 3,27$). Pour la région lombaire, 40% de l'échantillon déclarait une intensité de douleur supérieure à 4 sur 10 pour la région lombaire quand 50% de l'échantillon ne ressentait aucune douleur. Ce résultat semble suggérer qu'il existe deux profils de vignerons dans cette étude : (1) ceux qui ne ressentent aucune douleur et (2) ceux qui sont douloureux et qui ont pour la plupart une douleur d'intensité modérée. Dans la Contribution 3, l'intensité de douleur perçue augmentait de façon significative après 1h de travail, avec ou sans échauffement. Dans la Contribution 5, cette évolution est également significative et pour le groupe contrôle, elle passe d'un niveau de douleur d'intensité faible ($1,87 \pm 2,85$) à un niveau de douleur d'intensité modérée ($3,31 \pm 3,47$) toujours selon la classification de Bayattork et coll. (Bayattork et al., 2019). Dans les groupes interventions, la douleur

augmente également de manière significative mais reste à un niveau considéré comme faible (<2 sur 10). Aucune des trois modalités d'échauffement mises en œuvre ne semble avoir un effet positif sur la douleur. Cependant, l'échantillon de cette étude ne présente pas des niveaux de douleur suffisamment élevés pour observer des différences significatives. Ce dernier point met en lumière la difficulté pour des études *in situ* d'accéder à des participants douloureux (Kennedy et al., 2022).

Les Contributions 4 et 5 ont également confirmé les effets positifs des échauffements sur la performance au travail. Cependant, ces contributions ont permis de démontrer que la modalité « Dynamique » permettait d'obtenir des effets plus importants sur la FC, la performance et sur les perceptions des salariés viticoles. À l'issue de l'échauffement, l'ensemble des modalités entraînent une augmentation de la FC mais celle-ci est plus importante dans la modalité « Dynamique » que dans les 2 autres modalités. De plus, dans la modalité dynamique, elle permet d'atteindre 55% de la FCMThéorique, calculée selon la formule de Gellish et coll. (Gellish et al., 2007) : $FC_{Max} = 207 - 0,7 * \text{âge}$. En d'autres termes, la modalité d'échauffement dynamique est la modalité d'échauffement qui permet aux salariés de se rapprocher le plus des recommandations (~ 60 à 75% FC_{max}) retrouvées dans le monde sportif pour obtenir des effets physiologiques et permettre une performance optimale des athlètes (Bishop, 2003b; Fradkin et al., 2010; McGowan et al., 2015; Woods et al., 2007). Cette différence entre la modalité dynamique et les modalités hybride et stretching s'apprécie également à travers la Fréquence Cardiaque Relative (FCRelative). Pour rappel, la FCRelative est définie comme :

$$(FCEffort - FCRepos) / (FCMThéorique - FCRepos) * 100$$

La FCEffort correspond dans notre Contribution 5 à la FC moyenne à T1, T2, T3 et T4 ; la FCRepos correspond à la FC mesurée au repos à T0 et la FCMThéorique calculée avec la formule de Gellish et coll. (Gellish et al., 2007). Après l'échauffement, la FCRelative est significativement plus élevée dans le groupe dynamique que dans les trois autres groupes (deux groupes intervention et le groupe contrôle), ce qui indique que l'échauffement dynamique est le plus intense d'un point de vue cardio-vasculaire.

Un parallèle peut également être fait entre la FC et la performance des salariés car cette dernière était significativement plus élevée dans la modalité dynamique par rapport au groupe contrôle. Une différence totale de 72 pieds de vigne (14% de la performance totale) est ainsi observée entre les 2 groupes. Cette différence rapportée en 3h de travail est particulièrement

intéressante tant pour le salarié que pour l'employeur (Pereira et al., 2015). Du point de vue du salarié, une augmentation de la performance au travail est synonyme de rémunération plus importante sur la période considérée. Cet intérêt pécuniaire n'est pas négligeable quand on connaît le lien entre le niveau de revenu et la qualité de vie au quotidien (Ferrer-i-Carbonell, 2005). De plus, cette amélioration de la performance de travail dans le groupe « échauffement dynamique » ne semble pas s'accompagner de douleurs plus importantes que dans les autres groupes. Ainsi, les salariés produisent plus, donc perçoivent une rémunération supérieure, sans avoir des intensités de douleurs plus importantes. Du point de vue de l'employeur, une amélioration de la performance est corrélée à une meilleure rentabilité financière. Ce résultat peut être un levier important dans la volonté de mettre en place ce type de dispositifs au sein des entreprises où le coût est fréquemment mis en avant comme frein principal (Planchard et al., 2018; van Dongen et al., 2014). Aussi, nos résultats suggèrent qu'investir 15 minutes sur le temps de travail des salariés pour leur permettre de réaliser un échauffement n'entraîne pas de perte de production pour l'entreprise.

Ce gain de temps sur une activité comme la taille de la vigne peut également apporter un certain confort dans l'organisation du travail pour l'employeur et le salarié. La viticulture, comme toute activité du secteur viticole, est soumise à des contraintes climatiques, se traduisant en contraintes temporelles (Parolini, 2022), plus ou moins prévisibles. Ce phénomène est d'autant plus important dans un contexte global de réchauffement climatique, conduisant à une période végétative (propice à la taille) plus courte et à une pousse du végétal plus précoce (Comte et al., 2022; Gutiérrez-Gamboa et al., 2021). Ainsi, la période habituellement dévolue aux activités hivernales en viticulture a tendance à se compresser, sur la période allant des mois de décembre à mars (au lieu de novembre-avril), obligeant les entreprises à réaliser les mêmes tâches avec moins de temps disponible.

Dans la lignée de la Contribution 3, la Contribution 5 a permis d'observer un effet psychologique de l'échauffement. Cet effet psychologique de l'échauffement est important dans le milieu sportif car il permet de retrouver des niveaux de motivation et d'engagement plus importants pour un programme d'AP (Ladwig, 2013). Dans la Contribution 5, le sentiment d'être prêt à commencer le travail était significativement meilleur dans les modalités Hybride et Dynamique par rapport au groupe contrôle. Ce résultat correspond à celui de la Contribution 3 où un échauffement hybride avait également amélioré le sentiment d'être prêt à commencer le travail. Il est intéressant de noter que l'échauffement Hybride ($8,55 \pm 1,66$) dans la Contribution 3 et les échauffements Hybride ($8,72 \pm 1,49$) et Dynamique

(8,36 ± 1,22) dans la Contribution 5 ont induit un sentiment d'être prêt à commencer le travail supérieur au sentiment d'être prêt à commencer un match mesuré après un échauffement (7,06 ± 1,65) dans l'étude de Romaratezabala et coll. (Romaratezabala et al., 2018). Les échauffements mis en œuvre dans les études interventionnelles de ce travail doctoral produisent un effet psychologique encore plus important que dans le milieu sportif. Ce résultat semble indiquer que les exercices sélectionnés dans les modalités hybride et dynamique correspondent aux attentes des vigneron et sont adaptés à l'activité de taille de la vigne. L'amélioration de la performance pour la modalité hybride dans la Contribution 3 et pour la modalité dynamique dans la Contribution 5 va également dans ce sens.

Dans la Contribution 5, la charge de travail perçue des salariés viticoles était évaluée à l'aide du questionnaire NASA-TLX. Ce dernier permet de calculer un score pour 6 catégories en lien avec la charge de travail. Parmi ces six items du NASA-TLX, il y a des différences significatives pour les modalités d'échauffement stretching et dynamique. Premièrement, la performance perçue, autant quantitative que qualitative, était significativement plus élevée dans la modalité stretching. À l'inverse, la demande mentale était plus élevée dans le groupe stretching par rapport au groupe dynamique mais ceci est associé à une meilleure qualité de travail. Cette concentration et cette application, nécessaires pour augmenter la qualité du travail se sont traduites par une demande mentale plus importante. Il est intéressant de noter que le groupe stretching est le groupe avec l'ancienneté la plus importante. Une qualité de travail et une demande mentale plus importante associées à l'ancienneté peuvent indiquer un focus mis sur la qualité plutôt que sur la quantité lié à l'expérience et à la connaissance du métier. En effet, la qualité du travail pendant la taille conditionne tous les autres travaux de l'année, notamment au moment de la pousse de la plante. Ainsi, les salariés du groupe stretching, plus expérimentés, mettent l'accent sur la qualité du travail, ont une performance perçue comme meilleure au prix d'une charge mentale plus importante. Deuxièmement, le score global au NASA-TLX était significativement plus faible dans le groupe dynamique par rapport au groupe contrôle, ce qui signifie que les participants du groupe dynamique avaient une charge de travail globale perçue plus faible. Les participants du groupe dynamique éprouvent donc à la fois un meilleur sentiment d'être prêt à commencer le travail et une charge de travail perçue moins importante, ce qui semble indiquer que cet échauffement est le plus efficace sur les perceptions et les aspects psychologiques. À noter que comparativement à d'autres secteurs d'activité (Grier, 2015), les salariés viticoles inclus dans la Contribution 5 déclarent une charge de travail globale plutôt faible. Plusieurs auteurs ont montré que

travailler avec un niveau de douleur modéré ou élevé avait tendance à augmenter la charge de travail perçue (de Vries et al., 2012; Luger et al., 2019). Le fait que cet échantillon soit peu douloureux peut expliquer cette charge de travail plutôt faible.

Bien que des résultats encourageants aient été observés pour la performance, la fréquence cardiaque et les perceptions, nos contributions ne montrent pas ou peu d'effets des échauffements sur les capacités physiques des salariés et surtout ne montrent pas ou peu de différence entre les modalités. Dans le milieu sportif, des résultats sur les capacités physiques des athlètes sont régulièrement observés après une session d'échauffement (Bishop, 2003b; McCrary et al., 2015; McGowan et al., 2015). Ainsi, une amélioration des performances musculaires, comme la puissance, la force ou la flexibilité ont été rapportées dans la revue de McCrary et coll. dans 15 études ayant évalué les effets d'un échauffement dynamique (McCrary et al., 2015). Lors de ces échauffements à destination des athlètes, l'intensité des exercices est plus élevée que l'intensité que nous avons rapportée dans nos contributions, y compris pour la modalité « Dynamique ». Ainsi, l'intensité moyenne en fin d'échauffement est de 173bpm dans l'étude de Schneider et coll. (Schneider et al., 2020). Dans la lutte contre les TMS, il est aujourd'hui démontré qu'un développement des capacités physiques des personnes est nécessaire pour leur permettre de mieux faire face aux contraintes auxquelles elles sont exposées. Par conséquent, de futures études devront s'atteler à étudier les effets d'exercices d'échauffement plus intense. Comme discutée, cette intensité d'exercice est une des conditions à respecter pour le développement des capacités physiques mais ce n'est pas la seule. En effet, l'absence de différence majeure entre nos modalités peut également s'expliquer par le contenu et la durée des exercices proposés. Pour l'ensemble des modalités d'échauffement, nous avons fait le choix de proposer 20 exercices. Ce choix était motivé par la volonté d'échauffer toutes les parties du corps impliquées dans la taille de la vigne (Balaguier et al., 2017a; Roquelaure et al., 2002) et que chaque modalité soit réalisée en 15 minutes (Bishop, 2003b; McCrary et al., 2015; McGowan et al., 2015). Bien que scientifiquement fondé, ce choix limite le temps de travail sur chacune des zones anatomiques échauffées.

Enfin, les résultats au test visuo-moteur montrent que le temps total et le temps moyen étaient significativement plus élevés à T4 par rapport à T1 ce qui semble indiquer une potentielle fatigue cognitive induite par les 3h de travail avec ou sans échauffement. Cette fatigue cognitive est connue et décrite dans des activités purement intellectuelles (Hockey, 2013). Les ressources mentales sont limitées et chaque tâche cognitive ponctionne une partie de ces

ressources, conduisant à une fatigue cognitive qui peut être à l'origine d'une baisse de la performance (Sievertsen et al., 2016; Wise et al., 2019). Seul le repos peut permettre à un individu de recharger ses ressources mentales comme le montrent Sievertsen et coll. (Sievertsen et al., 2016) dans une étude menée auprès d'étudiants lors d'examens. Dans cette étude, chaque heure passée dans la journée diminuait la performance à un examen de 0,9 % mais une pause de 20 à 30 minutes permettait d'augmenter la performance à l'examen de 1,7%. La Contribution 5 montre ainsi que l'activité de taille de la vigne, en plus d'être particulièrement sollicitante d'un point de vue biomécanique (Balaguier et al., 2017a; Bernard et al., 2011; Roquelaure et al., 2002), semble également induire une fatigue cognitive.

Ainsi, bien que la modalité hybride ait montré des effets positifs sur la performance, la FC et les perceptions dans la Contribution 3, la Contribution 5 semble indiquer que la modalité dynamique est la plus efficace pour augmenter la performance, la FC, pour améliorer les perceptions et diminuer la charge de travail perçue.

4.2. Limites

4.2.1. Population étudiée

Ce travail doctoral s'est focalisé sur une population de salariés viticoles exposés tout au long de l'année à un travail physique et à des contraintes environnementales fortes. Afin de répondre aux objectifs de cette thèse, les critères d'inclusion de nos 2 études interventionnelles se voulaient peu restrictifs (être âgé de 18 à 65 ans, ne pas avoir subi d'opération chirurgicale dans les 12 derniers mois, avoir plus d'un an d'ancienneté et travailler à plein temps). Ce travail se déroulant ensuite dans un contexte professionnel, nous avons fait le choix en collaboration avec les entreprises de ne proposer ces études qu'aux salariés volontaires. Aucune obligation de participation n'a été imposée aux salariés. Malgré ces choix, un échantillon plutôt représentatif de la population de salariés viticoles de la région Bordelaise a été obtenu. Le tableau 2 compare les données démographiques (âge, ancienneté et proportion de femmes) des études interventionnelles de ce travail doctoral avec les populations des études de Balaguier et coll. et Bernard et coll. (Balaguier et al., 2017b; Bernard et al., 2011) ainsi que la population affiliée à la MSA (Chiffres utiles de la MSA - Edition 2023).

	Contribution 3	Contribution 5	Balaguier et al. 2017	Bernard et al. 2011	Données MSA
Age (années)	40,1 ($\pm 10,6$)	38,2 ($\pm 11,6$)	45,1 ($\pm 7,0$)	43,34 ($\pm 10,6$)	38
Ancienneté (années)	14,3 ($\pm 10,2$)	13,5 ($\pm 10,9$)	18,8 ($\pm 6,7$)	17,2 ($\pm 8,6$)	NC
Proportion de femmes (%)	52	25	37,5	28,4	38,8

Tableau 2. Comparatif des données démographiques des populations des Contribution 3 et 5 avec les études de Balaguier et al. 2017 et Bernard et al. 2011

Pour autant, force est de constater que la population étudiée présente aussi des différences avec la population générale des salariés viticoles. Tout d'abord, la population des 2 études interventionnelles présente un niveau d'intensité douloureuse assez faible. Dans les Contributions 3 et 5 de ce travail doctoral, l'intensité moyenne de douleur perçue par les salariés viticoles au niveau des membres supérieurs était inférieure à 1 sur une échelle numérique de 0 à 10, ce qui est considéré comme très faible dans la littérature (Bayattork et al., 2019). S'ils sont moins fréquents (10%), les TMS du rachis, et notamment du rachis lombaire, sont ceux qui donnent lieu aux arrêts de travail les plus longs avec une moyenne de 70 jours sur la période 2012-2016 en agriculture (MSA. Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles. Bilan national 2012-2016). Dans les 2 études interventionnelles de cette thèse, la région lombaire était la localisation anatomique la plus douloureuse dans cette population de vigneron. Cependant, l'intensité moyenne de douleur perçue était inférieure à 2 sur 10 avant de commencer le travail et ne dépassait pas 3,5 sur 10 après 3h de travail, ce qui reste une intensité considérée comme faible à modérée (Bayattork et al., 2019). Deux raisons peuvent expliquer ces résultats. Premièrement, bien que l'échantillon soit représentatif, l'âge moyen des deux contributions (40,1 \pm 10,6 ans et 38,2 \pm 11,6 ans) est inférieur à d'autres études réalisées en viticulture en France. Dans l'étude de Balaguier et coll. (Balaguier et al., 2017b), la moyenne d'âge était de 45,1 ($\pm 7,0$) ans et dans l'étude de Bernard et coll. (Bernard et al., 2011), la tranche d'âge 40ans et plus représente 62,1% de l'échantillon de 2824 salariés viticoles, tranche d'âge pour laquelle est observé le plus fort taux de TMS. Aussi, l'âge moyen de notre échantillon inférieur à cette tranche d'âge peut expliquer le fait qu'il soit relativement épargné par les douleurs (MSA.

Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles. Bilan national 2012-2016). En effet, les personnes de plus de 41 ans représentent 50% des salariés viticoles mais 85% des TMS (MSA. Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles. Bilan national 2012-2016). Il est même probable qu'un nombre important de salariés plus âgés soit déjà en arrêt de travail à cause d'un TMS (Steenstra et al., 2005). Deuxièmement, la participation aux Contributions 3 et 5 s'est faite sur la base du volontariat, ce qui a peut-être laissé de côté des salariés plus douloureux. En effet, dans les études de prévention des TMS, il est fréquent d'observer que les personnes qui participent ne sont pas forcément les personnes qui en ont le plus besoin (Genin et al., 2018).

Dans notre seconde étude interventionnelle (Contribution 5), 11 personnes n'ont pas souhaité participer à l'étude après la répartition aléatoire. Ces personnes se sont rendu compte que la modalité contrôle leur avait été attribuée lorsque l'intervenant responsable de l'évaluation des variables leur a demandé de commencer leur journée de travail alors qu'elles ne s'étaient pas échauffées. La déception et la frustration engendrées par cette attribution les ont conduits à vouloir quitter l'étude et ne pas apparaître dans l'analyse finale.

4.2.2. Durée des études

Ce travail doctoral a tout d'abord démontré au travers des Contributions 1 et 2 que la littérature scientifique sur les effets des échauffements dans le milieu professionnel était limitée. Aussi, nous avons décidé dans un premier temps d'évaluer les effets immédiats des échauffements lors d'une session unique de 15 minutes. En effet, l'objectif premier d'un échauffement est de préparer le corps et l'esprit d'un athlète, ou d'un travailleur, à réaliser une activité physique faisant suite à cet échauffement (McCrary et al., 2015; Woods et al., 2007). Cependant, il est aujourd'hui clairement établi que la prévention des TMS passe par des actions qui s'inscrivent durablement dans le temps (Magnussen et al., 2009). Par conséquent, le manque de résultats de nos études sur les capacités physiques et sur la douleur peut en partie s'expliquer par la réalisation d'une session unique d'échauffement. En effet, plusieurs études ont montré que les effets d'un programme d'activité physique pour la prévention des TMS s'observent au bout de plusieurs semaines de réalisation, généralement entre 6 et 12 semaines (Chen et al., 2018; Lowry et al., 2017; Prieske et al., 2019). À titre d'exemple sur une population similaire à la nôtre, Balaguier et coll ont montré qu'il fallait pratiquer 2 séances de renforcement musculaire et d'étirement par semaine pendant au moins 4 semaines pour augmenter la performance au Fingertip-To-Floor de 6cm (Balaguier et al., 2017b). Lorsque l'on s'intéresse à des capacités physiques comme l'endurance des muscles extenseurs

du rachis ou bien la sensibilité à la pression, Balaguier et coll. ont montré que 8 semaines de pratique étaient nécessaires afin d'augmenter significativement ces capacités (Balaguier et al., 2017b).

4.2.3. Echauffements réalisés

La première modalité d'échauffement testée dans la Contribution 3 a été la modalité hybride. Cette modalité, associant des exercices dynamiques et des étirements, est particulièrement utilisée dans le milieu sportif pour ses effets tant sur la performance, la force mais aussi la souplesse (Fradkin et al., 2010). La modalité hybride se veut la plus complète possible et l'ensemble du corps est mobilisé lors de l'échauffement, avec une attention particulière aux régions anatomiques particulièrement sollicitées dans l'activité suivant l'échauffement (Woods et al., 2007). Dans nos contributions, nous avons pensé les exercices afin qu'ils mobilisent les parties du corps les plus sollicitées pendant la tâche, c'est-à-dire les membres supérieurs (épaules, coudes, avant-bras, poignets et mains) et le tronc (Balaguier et al., 2017a; Bernard et al., 2011; Roquelaure et al., 2002). Cependant, cette modalité n'a pas eu d'effets sur les capacités physiques. Concernant la force de préhension, seulement 5 exercices (dont 2 étirements) sur les 20 de la modalité hybride sont focalisés sur les avant-bras. Il est probable que le nombre d'exercices ciblant les muscles de l'avant-bras, ainsi que leur intensité (pas de charge ou de résistance), aient été trop faibles pour observer une augmentation significative de la force de préhension.

Concernant l'intensité, il paraît aujourd'hui nécessaire dans le milieu professionnel d'atteindre une intensité minimum de 50% de la FCMax (Contribution 3) pour espérer voir des effets sur la performance et les perceptions des salariés. Il semblerait également qu'une intensité de 55% (Contribution 5) soit plus propice à l'obtention de résultats positifs.

Dans le monde sportif et dans la seule étude réalisée dans le monde professionnel, la modalité stretching est initialement utilisée pour essayer d'améliorer la souplesse et de diminuer les douleurs (da Costa and Vieira, 2008; Shrier, 2007; Woods et al., 2007). Dans la Contribution 5, les exercices de la modalité « stretching » avaient été imaginés en ce sens. Pour autant, nous n'avons observé aucun résultat sur les qualités de souplesse des participants. Cette absence de résultat peut s'expliquer de plusieurs façons. Tout d'abord, la performance au test de souplesse des participants avant la pratique d'un échauffement est particulièrement élevée en comparaison avec des populations similaires mais également la population générale (Ekedahl et al., 2012; Perret et al., 2001). Aussi, nous avons pu être confrontés à un effet dit

« plafond », c'est-à-dire une incapacité de nos exercices à développer la souplesse des participants due à une performance initiale trop élevée. Ce résultat peut également s'expliquer par la durée des exercices d'étirements. En effet, dans la modalité stretching, chacun des exercices était maintenu 30 secondes (2*15 secondes). Bien que cette durée soit celle utilisée lors d'échauffements dans le milieu sportif (Zmijewski et al., 2020) ou sur le lieu de travail (Gartley and Prosser, 2011), plusieurs auteurs s'accordent à dire qu'une durée supérieure à 30 secondes aurait certainement été plus bénéfique (Feland et al., 2001; Medeiros et al., 2016). Cependant, de nombreux auteurs mettent aussi en avant que des étirements passifs réalisés avant une activité physique peuvent avoir des effets délétères sur la performance musculaire (Kay and Blazeovich, 2012; Matsuo et al., 2019; Simic et al., 2013). Behm et Chaouachi ont observé un effet dose-réponse assez net où les étirements maintenus plus de 60 secondes seraient plus susceptibles d'entraîner un effet négatif sur la performance (Behm and Chaouachi, 2011). En ce sens, Behm et coll. a même montré que l'étirement passif pouvait être utilisé en échauffement tant que les étirements ne sont pas maintenus plus de 60 secondes (Behm et al., 2021). L'étude de Yamaguchi et Ishii va dans ce sens puisqu'elle recommande des étirements passifs maintenus de 20 à 30 secondes pendant un échauffement (Yamaguchi and Ishii, 2005). Ainsi, même si des étirements maintenus plus de 30 secondes avaient peut-être été plus efficaces sur la souplesse, ils auraient pu avoir un impact négatif sur la performance (Behm and Chaouachi, 2011).

4.2.4. Variables et tests utilisés

Dans les deux études interventionnelles de ce travail doctoral, la performance au travail était considérée comme une variable primaire. La performance est une variable d'intérêt dans les études évaluant les effets d'un programme d'AP au travail pour prévenir les TMS (Grimani, 2019). En effet, la performance est souvent altérée en présence de TMS (Leijten et al., 2014; Lötters et al., 2005; Marin-Farrona et al., 2023). De plus, il est important pour les employeurs que la performance au travail ne soit pas négativement impactée par la mise en œuvre d'un programme d'AP sur le temps de travail. Dans le cas où la performance est augmentée par la mise en place d'un programme d'AP, l'employeur, qui est généralement celui qui paie l'intervention, sera plus enclin à la faire durer sur du long terme, ce qui est un élément clé de la prévention des TMS (Pereira et al., 2015).

La douleur est le symptôme le plus caractéristique des TMS. Il semble ainsi indispensable de l'évaluer afin de mesurer l'impact d'une intervention sur les TMS. Pour la mesurer, ce sont les questionnaires de type « nordique » ou les échelles visuelles ou numériques d'évaluation

de la douleur qui sont les plus utilisés en recherche (Bombardier, 2000; Chapman et al., 2011; Descatha et al., 2007; Lotter et al., 2021). Ces outils subjectifs ou semi-objectifs sont pratiques et utilisables *in situ* tout en présentant une bonne fiabilité. Néanmoins, comme il s'agit d'outils subjectifs, il est fréquent d'avoir une sous-évaluation de la douleur dans les secteurs d'activité avec une forte composante physique, où certains salariés veulent renvoyer une image de force et de résistance (Boatman et al., 2015).

Pour mesurer l'intensité d'un exercice, il existe plusieurs types de variables comme la FC, la VO2 ou l'échelle de Borg. La FC présente l'avantage d'être un outil objectif, facile à mesurer en dehors d'un laboratoire et les capteurs de fréquence cardiaque sont aujourd'hui fiables (Fuller et al., 2020; Kunkels et al., 2021). De plus, la FCRelative permet d'affiner l'analyse et d'avoir une estimation plus précise de l'intensité perçue d'un exercice qu'avec la FC seule.

Dans les Contributions 3 et 5 les perceptions des salariés viticoles comme le sentiment d'être prêt à commencer le travail et la qualité de travail sont évaluées avec des outils subjectifs. Malgré quelques réticences quant à la puissance et à la validité des outils de mesure subjectifs, il y a un mouvement récent dans la recherche expérimentale qui pousse pour l'utilisation de ces outils (Desai et al., 2010). En effet, ils sont souvent plus pratiques et moins coûteux que les outils objectifs, et s'intègrent mieux dans le cadre d'expérimentations *in situ* (Desai et al., 2010). Le format privilégié par beaucoup d'auteurs pour évaluer des variables subjectives est l'échelle numérique de 0-10 (Chang et al., 2020; Romaratezabala et al., 2018). Parmi les perceptions des travailleurs, il est commun dans les études réalisées sur le lieu de travail d'évaluer la charge de travail perçue. Dans la contribution 5, nous avons utilisé le NASA-TLX, un outil certes subjectif, mais valide et reproductible (Grier, 2015).

La taille de la vigne sollicite particulièrement les membres supérieurs, et notamment la main et l'avant-bras (Roquelaure et al., 2002). La force de préhension est la mesure qui permet d'apprécier une éventuelle perte de fonction du membre supérieur liée à un TMS. Cette variable, mesurée à l'aide d'un dynamomètre est valide, reproductible et facile à évaluer *in situ*. Cependant, les modalités d'échauffement mises en œuvre ne semblent pas suffisamment ciblées ou intensives au niveau de la main et l'avant-bras pour observer un effet immédiat de l'échauffement. De la même façon, les tests de souplesse pour les ischio-jambiers et les épaules sont des tests fréquemment utilisés dans des études de terrain. Même si d'autres tests peuvent être plus précis et plus fiables, comme le « modified sit and reach » (Hoeger and Hopkins, 1992), le fingertip-to-floor est régulièrement utilisé aussi bien sur le lieu de travail

(Balaguier et al., 2017b) que dans un contexte médical (Ekedahl et al., 2012; Perret et al., 2001).

Enfin, le temps de réaction visuo-moteur a été, à notre connaissance, pour la première fois utilisé dans un contexte de travail dans la Contribution 5 (Dik et al., 2020; Reigal et al., 2019; Vater and Strasburger, 2021). Cependant, Verschueren et coll. ont utilisé cette variable dans un contexte de prévention des blessures dans le sport (Verschueren et al., 2019). Cette variable, permet d'apprécier le temps de réaction, utile pour une bonne performance au travail, mais également la capacité à fonctionner en double tâche en faisant le moins d'erreurs possible. En effet, pendant la taille la vigne, chaque erreur de coupe est préjudiciable pour la qualité du travail, voire pour la santé du travailleur (risque de se couper).

4.3. Perspectives

Ce travail de thèse ouvre de nombreuses perspectives. Il nous apparaît dans un premier temps important de mener un travail complémentaire (analyse secondaire) à partir des données acquises dans nos deux études interventionnelles afin de mieux comprendre et d'identifier les facteurs qui déterminent et prédisent non seulement l'adhésion à la prise en charge mais aussi son efficacité. Les résultats de ces analyses secondaires permettront d'établir des profils de répondant/répondeur et non-répondant/non-répondeur qui permettront ainsi de repenser l'intervention dispensée et de proposer un accompagnement complémentaire et personnalisé aux salariés pour mieux les engager dans cette démarche de prévention des TMS et améliorer leurs conditions de travail, bien-être et capital santé. Il pourrait également être intéressant de faire le même type d'analyse secondaire chez les salariés non-participants ainsi que chez ceux qui ont arrêté au cours de l'étude (« les perdus de vue ») pour comprendre les freins et motivations à utiliser le service proposé. Il existe différents types d'approches d'analyse exploratoire des données parmi lesquelles la classification hiérarchique (clustering) peut être citée ou encore l'apprentissage automatique que nous utiliserons afin de répondre à ces perspectives. Un des objectifs serait par exemple de recruter plus de travailleurs présentant des intensités de douleur élevées en début d'étude afin d'apprécier une éventuelle diminution de la douleur liée à l'échauffement.

Afin d'intégrer l'échauffement dans une politique de prévention primaire des TMS sur du long terme, il convient d'évaluer les effets d'un programme d'échauffement sur du long terme. En effet, sur le lieu de travail, ce sont les interventions qui durent plusieurs semaines qui permettent d'observer des effets positifs sur les capacités physiques et les douleurs (Chen

et al., 2018; Lowry et al., 2017; Prieske et al., 2019). Auprès de salariés viticoles, Balaguier et coll. ont montré qu'il fallait une intervention en AP sur le lieu de travail d'au moins 8 semaines pour augmenter les capacités physiques (Balaguier et al., 2017b). De plus, Dalager et coll. ont montré qu'un programme de 20 semaines avec 3 séances de 20 minutes ou avec 9 séances de 7 minutes par semaine permettait de réduire la douleur et d'améliorer les capacités physiques (Dalager et al., 2015). Il est intéressant de noter que dans cette étude, la moitié des séances étaient supervisées afin de permettre aux participants de maîtriser les 9 exercices différents. De la même façon, Andersen et coll. ont montré que 2 minutes de renforcement musculaire par jour pendant 10 semaines étaient suffisantes pour diminuer la douleur et augmenter l'endurance musculaire chez des travailleurs (Andersen et al., 2011). Les études incluses dans la Contribution 2 ont également mis en place un programme d'échauffement sur plusieurs semaines. Une prochaine étude interventionnelle pourrait se rapprocher des modalités de Gartley et Prosser et d'Holmström et Ahlborg (Gartley and Prosser, 2011; Holmström and Ahlborg, 2005) et évaluer les effets d'un échauffement supervisé réalisé tous les jours pendant 12 semaines sur les douleurs, la performance, la charge de travail perçue et les capacités physiques en lien avec les TMS.

Si la modalité dynamique semble la plus efficace, il est d'intérêt d'évaluer l'adhésion de salariés viticoles, avec une charge de travail physique importante, à une modalité aussi sollicitante. Ce dernier point est cependant à nuancer, puisque ce travail doctoral a montré que la modalité dynamique mise en œuvre dans la Contribution 5 augmentait la performance au travail et la FC, mais à un niveau légèrement inférieur aux recommandations sportives. Il pourrait également être intéressant de tester un échauffement encore plus intense afin de vérifier s'il ne produirait pas un effet encore plus marqué sur les variables d'intérêt. Afin d'augmenter l'intensité d'un échauffement, le milieu sportif montre que plusieurs options sont possibles. Premièrement, l'utilisation de matériel (ballon lesté, haltères) peut permettre d'augmenter la charge sur des exercices simples (McCrary et al., 2015; Silva et al., 2018). Certains sports font plutôt le choix d'augmenter la vitesse d'exécution des exercices pour augmenter l'intensité cardio-vasculaire (Fujii et al., 2021). Enfin, il est commun dans le milieu sportif de commencer l'échauffement par quelques minutes de course à pied afin d'augmenter la FC et la température musculaire (Fradkin et al., 2010; Girard et al., 2009; McGowan et al., 2015; Silva et al., 2018).

Cependant, dans le cas d'un échauffement plus intense, il faudra s'assurer que des travailleurs âgés de 18 à 60 ans, avec des douleurs, pourront le réaliser. L'intensité de l'exercice peut être

un frein à la participation à des programmes d'AP sur le lieu de travail clairement identifié par Ilvig et coll. (Ilvig et al., 2018). L'intensité des exercices ne doit pas être trop élevée pour permettre à tous les participants de réaliser le programme. L'intensité ne doit pas non plus être trop faible pour pouvoir observer des effets positifs sur la santé (Haskell et al., 2007; McCrary et al., 2015). De plus, dans le cas d'une intensité trop faible, on observe une perte d'intérêt des participants pouvant conduire à une plus faible participation (Ilvig et al., 2018).

Les échauffements mis en œuvre dans les études interventionnelles de ce travail doctoral étaient constitués de 20 exercices ciblant l'ensemble des régions anatomiques sollicitées lors de la taille de la vigne, pour une durée totale de 15 minutes. Cependant, l'analyse de la douleur dans cette population a montré que seule la région lombaire était concernée par une intensité de douleur supérieure à 2 sur 10. Aussi, les échauffements évalués n'ont pas eu d'effet positif sur la douleur. Une future pourra évaluer l'effet sur la douleur au niveau lombaire d'un échauffement uniquement constitué d'exercices mobilisant le tronc et le bassin, d'une durée de 15 minutes et d'une intensité suffisante pour atteindre environ 60% de la FCMax.

Dans des programmes d'AP réalisés pendant plusieurs semaines, la supervision est un moyen de garder un taux de présence élevé (Dalager et al., 2015). Cependant, selon Dalager et coll. la supervision n'est pas indispensable pour des sessions courtes d'AP composées d'exercices simples à réaliser, comme c'est le cas pour des échauffements de 10 à 15 minutes (Dalager et al., 2015). En ce sens, Andersen et coll. rapportent que 10 semaines d'exercices quotidiens non supervisés durant 2 ou 12 minutes ont permis une diminution de la douleur et une augmentation des capacités physiques (Andersen et al., 2012, 2011). Il est important de noter que pour obtenir ces résultats, la charge utilisée pendant ces séances a été augmentée progressivement tout au long du programme avec des élastiques de différentes résistances. Il est donc possible d'obtenir des effets bénéfiques sur la douleur et les capacités physiques avec des séances courtes d'AP non supervisées à condition qu'elles soient quotidiennes et que la charge augmente progressivement.

Enfin, il nous paraît également important de réaliser une analyse médico-économique. C'est d'ailleurs une des conclusions d'une revue récente sur AP au travail (Marin-Farrona et al., 2023). En effet, dans cette revue de littérature, les auteurs regrettent que peu d'études ne réalisent une analyse sur le rapport coût-efficacité des programmes d'AP sur le lieu de travail. Marin-Ferrona et coll. (Marin-Farrona et al., 2023) rapportent que la seule étude incluse dans

leur revue ayant réalisé une analyse médico-économique a montré une amélioration de la qualité de vie, une diminution de la douleur dans la région lombaire et ont conclu que la probabilité d'être rentable au niveau coût-efficacité est de 95%. Toujours d'après cette revue de Marin-Ferrona et coll. (Marin-Farrona et al., 2023), l'intérêt d'intégrer des analyses économiques dans ce type d'intervention est important, car elles pourraient apporter des avantages plus concrets aux décideurs dans les entreprises.

4.4. Conclusion

L'objectif principal de cette thèse était donc de concevoir, mettre en œuvre et évaluer les effets de programmes d'échauffement destinés à prévenir ou à limiter l'aggravation des TMS dans le secteur de la viticulture.

Pour répondre à cet objectif, une revue systématique de la littérature a dans un premier temps été conduite afin de réaliser un état des lieux de la littérature scientifique concernant les effets de programmes d'échauffement mis en œuvre sur le lieu de travail pour prévenir la survenue ou limiter l'aggravation des TMS dans le milieu professionnel (Contribution 1 et Contribution 2). Les résultats de cette revue ont montré que seulement trois études ont évalué l'impact d'un échauffement sur le lieu de travail et qu'aucune d'entre elles n'a été implémentée en agriculture. Ces conclusions nous ont dès lors encouragés à concevoir et mettre en œuvre deux études interventionnelles. La première, la Contribution 3, visait à évaluer les effets immédiats d'une seule session de 15 minutes d'échauffement sur la douleur, la fréquence cardiaque, la performance au travail et les perceptions de 31 ouvriers viticoles salariés dans 6 propriétés différentes. Dans cette étude, c'est la modalité Hybride, identifiée dans une des études incluses dans la revue et déjà utilisée dans le secteur viticole, qui a été mise en œuvre.

Les résultats ont tout d'abord confirmé que les activités réalisées par les salariés de ce secteur augmentaient l'intensité des douleurs perçues. Cependant, cette augmentation de la douleur durant la première heure de travail était similaire avec ou sans réalisation d'un échauffement. Les résultats ont de plus montré que la modalité d'échauffement utilisée, la modalité « HYBRIDE », entraînait une augmentation de la fréquence cardiaque tout au long de la réalisation des exercices. Enfin, cette étude a permis de mettre en évidence que la performance au travail, la qualité de travail perçue et le sentiment d'être prêt à commencer le travail augmentent lorsque les salariés réalisent un échauffement. Les résultats positifs obtenus sur 1h de travail avec la modalité d'échauffement hybride nous ont questionnés sur la persistance des effets d'un échauffement dans la journée de travail. Les résultats contrastés

observés sur la douleur ajoutée aux différentes modalités d'échauffement identifiés dans la revue de littérature nous ont orientés à conduire une seconde étude interventionnelle.

Ainsi, les objectifs de la seconde étude interventionnelle (Contribution 4 et Contribution 5) étaient de comparer les effets d'une seule session de 15 minutes de trois modalités d'échauffement identifiées dans la revue systématique, à savoir « HYBRIDE », « STRETCHING » et « DYNAMIQUE » auprès de 120 ouvriers viticoles, salariés dans une dizaine de propriétés viticoles. Les variables mesurées étaient la douleur, la fréquence cardiaque, la performance au travail, la force de préhension, la souplesse, les perceptions et les capacités visuo-motrices. Quarante-deux participants, issus de 10 propriétés viticoles et répartis en 4 groupes (3 interventions et 1 contrôle), ont finalement été inclus dans l'analyse. Les résultats de cette seconde étude interventionnelle suggèrent que la douleur et la fatigue cognitive augmentent avec le travail et que la fréquence cardiaque augmente lors de la réalisation des trois modalités d'échauffement et d'une manière significativement plus importante avec la modalité dynamique. Après un échauffement selon la modalité dynamique, on observe également une performance au travail plus importante et une charge de travail perçue moindre.

Dans leur ensemble, les résultats de ce travail doctoral ont montré que (1) peu d'études ont évalué les effets de programmes d'échauffements réalisés sur le lieu de travail sur la douleur, la performance, les capacités physiques et les perceptions et aucune n'a été réalisée en agriculture ; (2) la modalité hybride, modalité la plus répandue dans les entreprises, a des effets positifs sur la performance au travail et le ressenti des viticulteurs ; (3) la modalité stretching malgré une qualité de travail augmentée, n'a aucun effet significatif sur les autres variables mesurées ; et (4) la modalité dynamique est intéressante à proposer dans la mesure où elle permet d'obtenir un effet sur la performance et la charge de travail perçue ainsi qu'un effet plus marqué que les deux autres modalités sur la fréquence cardiaque.

Ces résultats ouvrent des perspectives de travail intéressantes, visant d'une part à déterminer les effets à moyen terme d'un programme d'échauffement, et d'autre part à identifier les déterminants permettant de maintenir les échauffements dans le temps. Les retombées sont prometteuses et importantes puisqu'il s'agit d'être en mesure, à terme, de délivrer des interventions ciblées et personnalisées pour limiter l'apparition de TMS dans le secteur de la viticulture. L'échauffement ne doit pas être considéré comme une solution miraculeuse pour la prévention des TMS, mais les résultats positifs observés dans la revue de littérature et dans

les deux études interventionnelles laissent à penser qu'il a toute sa place dans une démarche globale de prévention primaire des TMS.

Bibliographie

- Abdin, S., Welch, R.K., Byron-Daniel, J., Meyrick, J., 2018. The effectiveness of physical activity interventions in improving well-being across office-based workplace settings: a systematic review. *Public Health* 160, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.03.029>
- Aguilar, A.J., DiStefano, L.J., Brown, C.N., Herman, D.C., Guskiewicz, K.M., Padua, D.A., 2012. A Dynamic Warm-up Model Increases Quadriceps Strength and Hamstring Flexibility. *J. Strength Cond. Res.* 26, 1130–1141. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822e58b6>
- Aje, O.O., Smith-Campbell, B., Bett, C., 2018. Preventing Musculoskeletal Disorders in Factory Workers: Evaluating a New Eight Minute Stretching Program. *Workplace Health Saf.* 66, 343–347. <https://doi.org/10.1177/2165079917743520>
- Albrecht, S.C., Leineweber, C., Ojajärvi, A., Oksanen, T., Kecklund, G., Härmä, M., 2020. Association of work-time control with sickness absence due to musculoskeletal and mental disorders: An occupational cohort study. *J. Occup. Health* 62, e12181. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12181>
- Andersen, C.H., Andersen, L.L., Gram, B., Pedersen, M.T., Mortensen, O.S., Zebis, M.K., Sjøgaard, G., 2012. Influence of frequency and duration of strength training for effective management of neck and shoulder pain: a randomised controlled trial. *Br. J. Sports Med.* 46, 1004–1010. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090813>
- Andersen, L.L., Fallentin, N., Thorsen, S.V., Holtermann, A., 2016. Physical workload and risk of long-term sickness absence in the general working population and among blue-collar workers: prospective cohort study with register follow-up. *Occup. Environ. Med.* 73, 246–253. <https://doi.org/10.1136/oemed-2015-103314>
- Andersen, L.L., Persson, R., Jakobsen, M.D., Sundstrup, E., 2017. Psychosocial effects of workplace physical exercise among workers with chronic pain. *Medicine (Baltimore)* 96. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000005709>
- Andersen, L.L., Saervoll, C.A., Mortensen, O.S., Poulsen, O.M., Hannerz, H., Zebis, M.K., 2011. Effectiveness of small daily amounts of progressive resistance training for frequent neck/shoulder pain: randomised controlled trial. *Pain* 152, 440–446. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.11.016>
- Andersen, L.L., Zebis, M.K., 2014. Process evaluation of workplace interventions with physical exercise to reduce musculoskeletal disorders. *Int. J. Rheumatol.* 2014, 761363. <https://doi.org/10.1155/2014/761363>
- Anderson, S.P., Oakman, J., 2016. Allied Health Professionals and Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review. *Saf. Health Work* 7, 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.04.001>
- Balaguier, R., Madeleine, P., Hlavackova, P., Rose-Dulcina, K., Diot, B., Vuillerme, N., 2014. Self-reported pain and trunk posture during pruning activity among vineyard workers at the Château Larose-Trintaudon: 11th International Symposium on Human Factors in Organizational Design and Management (ODAM). *Proc. 11th Int. Symp. Hum. Factors Organ. Des. Manag. O DAM 46th Annu. Nord. Ergon. Soc. Conf. NES 17-20 August 2014 Cph. Den.* 965–970.
- Balaguier, R., Madeleine, P., Rose-Dulcina, K., Vuillerme, N., 2017a. Trunk kinematics and low back pain during pruning among vineyard workers-A field study at the Chateau Larose-Trintaudon. *PloS One* 12, e0175126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175126>
- Balaguier, R., Madeleine, P., Rose-Dulcina, K., Vuillerme, N., 2017b. Effects of a Worksite Supervised Adapted Physical Activity Program on Trunk Muscle Endurance,

- Flexibility, and Pain Sensitivity Among Vineyard Workers. *J. Agromedicine* 22, 200–214. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2017.1317683>
- Bao, S., Howard, N., Lin, J.-H., 2020. Are Work-Related Musculoskeletal Disorders Claims Related to Risk Factors in Workplaces of the Manufacturing Industry? *Ann. Work Expo. Health* 64, 152–164. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxz084>
- Bär, M., Steinhilber, B., Rieger, M.A., Luger, T., 2021. The influence of using exoskeletons during occupational tasks on acute physical stress and strain compared to no exoskeleton - A systematic review and meta-analysis. *Appl. Ergon.* 94, 103385. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103385>
- Barneo-Alcántara, M., Díaz-Pérez, M., Gómez-Galán, M., Carreño-Ortega, Á., Callejón-Ferre, Á.-J., 2021. Musculoskeletal Disorders in Agriculture: A Review from Web of Science Core Collection. *Agronomy* 11, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102017>
- Barrero, L.H., Cifuentes, M., Rodríguez, A.C., Rey-Becerra, E., Johnson, P.W., Marin, L.S., Piedrahita, H., Dennerlein, J.T., 2019. Whole-body vibration and back pain-related work absence among heavy equipment vehicle mining operators. *Occup. Environ. Med.* 76, 554–559. <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105914>
- Barros, F.C., Cabral, A.M., Moreira, R. de F.C., Sato, T. de O., 2019. Does adherence to workplace-based exercises alter physical capacity, pain intensity and productivity? *Eur. J. Physiother.* 21, 83–90. <https://doi.org/10.1080/21679169.2018.1485736>
- Baumgarten, K.M., Gerlach, D., Galatz, L.M., Teefey, S.A., Middleton, W.D., Ditsios, K., Yamaguchi, K., 2010. Cigarette smoking increases the risk for rotator cuff tears. *Clin. Orthop.* 468, 1534–1541. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-0781-2>
- Bayattork, M., Jakobsen, M.D., Sundstrup, E., Seidi, F., Bay, H., Andersen, L.L., 2019. Musculoskeletal pain in multiple body sites and work ability in the general working population: cross-sectional study among 10,000 wage earners. *Scand. J. Pain* 19, 131–137. <https://doi.org/10.1515/sjpain-2018-0304>
- Beemster, T.T., van Velzen, J.M., van Bennekom, C.A.M., Frings-Dresen, M.H.W., Reneman, M.F., 2015. Cost-effectiveness of 40-hour versus 100-hour vocational rehabilitation on work participation for workers on sick leave due to subacute or chronic musculoskeletal pain: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 16, 317. <https://doi.org/10.1186/s13063-015-0861-4>
- Behm, D.G., Chaouachi, A., 2011. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 111, 2633–2651. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1879-2>
- Behm, D.G., Kay, A.D., Trajano, G.S., Blazevich, A.J., 2021. Mechanisms underlying performance impairments following prolonged static stretching without a comprehensive warm-up. *Eur. J. Appl. Physiol.* 121, 67–94. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04538-8>
- Bernal, D., Campos-Serna, J., Tobias, A., Vargas-Prada, S., Benavides, F.G., Serra, C., 2015. Work-related psychosocial risk factors and musculoskeletal disorders in hospital nurses and nursing aides: a systematic review and meta-analysis. *Int. J. Nurs. Stud.* 52, 635–648. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2014.11.003>
- Bernard, C., Courouve, L., Bouée, S., Adjémian, A., Chrétien, J.-C., Niedhammer, I., 2011. Biomechanical and psychosocial work exposures and musculoskeletal symptoms among vineyard workers. *J. Occup. Health* 53, 297–311. <https://doi.org/10.1539/joh.10-0031-oa>
- Bevan, S., 2015. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 29, 356–373. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2015.08.002>

- Biering-Sørensen, F., 1984. Physical Measurements as Risk Indicators for Low-Back Trouble Over a One-Year Period. *Spine* 9, 106–119.
- Bishop, D., 2003a. Warm Up I. *Sports Med.* 33, 439–454. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333060-00005>
- Bishop, D., 2003b. Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med. Auckl. NZ* 33, 483–498. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00002>
- Boatman, L., Chaplan, D., Teran, S., Welch, L.S., 2015. Creating a climate for ergonomic changes in the construction industry. *Am. J. Ind. Med.* 58, 858–869. <https://doi.org/10.1002/ajim.22499>
- Bombardier, C., 2000. Outcome assessments in the evaluation of treatment of spinal disorders: summary and general recommendations. *Spine* 25, 3100–3103. <https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00003>
- Bordado Sköld, M., Bayattork, M., Andersen, L.L., Schlänsen, V., 2019. Psychosocial effects of workplace exercise - A systematic review. *Scand. J. Work. Environ. Health* 45, 533–545. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3832>
- Bovenzi, M., 2005. Health effects of mechanical vibration. *G. Ital. Med. Lav. Ergon.* 27, 58–64.
- Bovenzi, M., Prodi, A., Mauro, M., 2016. A longitudinal study of neck and upper limb musculoskeletal disorders and alternative measures of vibration exposure. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 89, 923–933. <https://doi.org/10.1007/s00420-016-1131-9>
- Brumitt, J., Reisch, R., Krasnoselsky, K., Welch, A., Rutt, R., Garside, L.I., McKay, C., 2010. Self-Reported Musculoskeletal Pain in Latino Vineyard Workers. *J. Agromedicine* 16, 72–80. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2011.534041>
- Carayon, P., Smith, M.J., 2000. Work organization and ergonomics. *Appl. Ergon., Fundamental Reviews in Applied Ergonomics* 31, 649–662. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(00\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00040-5)
- Caroly, S., Coutarel, F., Landry, A., Mary-Cheray, I., 2010. Sustainable MSD prevention: management for continuous improvement between prevention and production. Ergonomic intervention in two assembly line companies. *Appl. Ergon.* 41, 591–599. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.12.016>
- Caruso, C.C., Waters, T.R., 2008. A Review of Work Schedule Issues and Musculoskeletal Disorders with an Emphasis on the Healthcare Sector. *Ind. Health* 46, 523–534. <https://doi.org/10.2486/indhealth.46.523>
- Chang, Y.-F., Yeh, C.-M., Huang, S.-L., Ho, C.-C., Li, R.-H., Wang, W.-H., Tang, F.-C., 2020. Work Ability and Quality of Life in Patients with Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093310>
- Chapman, J., Dc, N., Jt, H., Rj, B., J, D., Mj, M., Mj, L., 2011. Evaluating common outcomes for measuring treatment success for chronic low back pain [WWW Document]. *Spine*. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31822ef74d>
- Chen, X., Coombes, B.K., Sjøgaard, G., Jun, D., O’Leary, S., Johnston, V., 2018. Workplace-Based Interventions for Neck Pain in Office Workers: Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys. Ther.* 98, 40–62. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzx101>
- Chiu, M.-C., Wang, M.-J.J., Lu, C.-W., Pan, S.-M., Kumashiro, M., Ilmarinen, J., 2007. Evaluating work ability and quality of life for clinical nurses in Taiwan. *Nurs. Outlook* 55, 318–326. <https://doi.org/10.1016/j.outlook.2007.07.002>
- Choi, S.D., Rajendran, S., 2014. Construction Workers’ Perception of Stretch and Flex Program Effectiveness in Preventing Work-related Musculoskeletal Disorders 8.

- Coenen, P., Huysmans, M.A., Holtermann, A., Krause, N., Mechelen, W. van, Straker, L.M., Beek, A.J. van der, 2020. Towards a better understanding of the ‘physical activity paradox’: the need for a research agenda. *Br. J. Sports Med.* 54, 1055–1057. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101343>
- Coenen, P., Kingma, I., Boot, C.R.L., Twisk, J.W.R., Bongers, P.M., van Dieën, J.H., 2013. Cumulative Low Back Load at Work as a Risk Factor of Low Back Pain: A Prospective Cohort Study. *J. Occup. Rehabil.* 23, 11–18. <https://doi.org/10.1007/s10926-012-9375-z>
- Cohen, S.P., Vase, L., Hooten, W.M., 2021. Chronic pain: an update on burden, best practices, and new advances. *Lancet Lond. Engl.* 397, 2082–2097. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00393-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00393-7)
- Comte, V., Schneider, L., Calanca, P., Rebetez, M., 2022. Effects of climate change on bioclimatic indices in vineyards along Lake Neuchatel, Switzerland. *Theor. Appl. Climatol.* 147, 423–436. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03836-1>
- Coury, H.J.C.G., Moreira, R. de F.C., Dias, N.B., 2009. Evaluation of the effectiveness of workplace exercise in controlling neck, shoulder and low back pain: a systematic review Efetividade do exercício físico em ambiente ocupacional para controle da dor cervical, lombar e do ombro: uma revisão sistemática [WWW Document]. URL /paper/Evaluation-of-the-effectiveness-of-workplace-in-and-Coury-Moreira/015911ea841c2d88660cd851fe1159b39bd7bf75 (accessed 6.11.20).
- da Costa, B.R., Vieira, E.R., 2010. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *Am. J. Ind. Med.* 53, 285–323. <https://doi.org/10.1002/ajim.20750>
- da Costa, B.R., Vieira, E.R., 2008. Stretching to reduce work-related musculoskeletal disorders: a systematic review. *J. Rehabil. Med.* 40, 321–328. <https://doi.org/10.2340/16501977-0204>
- Dalager, T., Bredahl, T.G.V., Pedersen, M.T., Boyle, E., Andersen, L.L., Sjøgaard, G., 2015. Does training frequency and supervision affect compliance, performance and muscular health? A cluster randomized controlled trial. *Man. Ther.* 20, 657–665. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.01.016>
- de Vries, H.J., Reneman, M.F., Groothoff, J.W., Geertzen, J.H.B., Brouwer, S., 2012. Workers Who Stay at Work Despite Chronic Nonspecific Musculoskeletal Pain: Do They Differ from Workers with Sick Leave? *J. Occup. Rehabil.* 22, 489–502. <https://doi.org/10.1007/s10926-012-9360-6>
- Deboli, R., Calvo, A., Preti, C., 2017. Whole-body vibration: Measurement of horizontal and vertical transmissibility of an agricultural tractor seat. *Int. J. Ind. Ergon.* 58, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.02.002>
- Desai, A.S., Dramis, A., Hearnden, A.J., 2010. Critical appraisal of subjective outcome measures used in the assessment of shoulder disability. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 92, 9–13. <https://doi.org/10.1308/003588410X12518836440522>
- Descatha, A., Roquelaure, Y., Chastang, J.F., Evanoff, B., Melchior, M., Mariot, C., Ha, C., Imbernon, E., Goldberg, M., Leclerc, A., 2007. Validity of Nordic-style questionnaires in the surveillance of upper-limb work-related musculoskeletal disorders. *Scand. J. Work. Environ. Health* 33, 58–65. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1065>
- Dik, J., Saglam, M., Tekerlek, H., Vardar-Yagli, N., Calik-Kutukcu, E., Inal-Ince, D., Arikan, H., Eryilmaz-Polat, S., Dogru, D., 2020. Visuomotor reaction time and dynamic balance in children with cystic fibrosis and non-cystic fibrosis bronchiectasis: A case-control study. *Pediatr. Pulmonol.* 55, 2341–2347. <https://doi.org/10.1002/ppul.24903>
- DiStefano, L.J., Marshall, S.W., Padua, D.A., Peck, K.Y., Beutler, A.I., de la Motte, S.J., Frank, B.S., Martinez, J.C., Cameron, K.L., 2016. The Effects of an Injury Prevention

- Program on Landing Biomechanics Over Time. *Am. J. Sports Med.* 44, 767–776.
<https://doi.org/10.1177/0363546515621270>
- Doss, W.S., Karpovich, P.V., 1965. A comparison of concentric, eccentric, and isometric strength of elbow flexors. *J. Appl. Physiol.* 20, 351–353.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1965.20.2.351>
- Driessen, M.T., Proper, K.I., van Tulder, M.W., Anema, J.R., Bongers, P.M., van der Beek, A.J., 2010. The effectiveness of physical and organisational ergonomic interventions on low back pain and neck pain: a systematic review. *Occup. Environ. Med.* 67, 277–285. <https://doi.org/10.1136/oem.2009.047548>
- Ehlert, A., Wilson, P.B., 2019. A Systematic Review of Golf Warm-ups: Behaviors, Injury, and Performance. *J. Strength Cond. Res.* 33, 3444–3462.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003329>
- Ekedahl, H., Jönsson, B., Frobell, R.B., 2012. Fingertip-to-floor test and straight leg raising test: validity, responsiveness, and predictive value in patients with acute/subacute low back pain. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 93, 2210–2215.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.04.020>
- Febbraio, M.A., Carey, M.F., Snow, R.J., Stathis, C.G., Hargreaves, M., 1996. Influence of elevated muscle temperature on metabolism during intense, dynamic exercise. *Am. J. Physiol.* 271, R1251–R1255. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1996.271.5.R1251>
- Feland, J.B., Myrer, J.W., Schulthies, S.S., Fellingham, G.W., Measom, G.W., 2001. The Effect of Duration of Stretching of the Hamstring Muscle Group for Increasing Range of Motion in People Aged 65 Years or Older. *Phys. Ther.* 81, 1110–1117.
<https://doi.org/10.1093/ptj/81.5.1110>
- Fernandes, G., Gonçalves, D.A.G., Conti, P., 2018. Musculoskeletal Disorders. *Dent. Clin.* 62, 553–564. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.05.004>
- Ferrer-i-Carbonell, A., 2005. Income and well-being: an empirical analysis of the comparison income effect. *J. Public Econ.* 89, 997–1019.
<https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2004.06.003>
- Fink, W.J., Costill, D.L., Van Handel, P.J., 1975. Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 34, 183–190.
<https://doi.org/10.1007/BF00999931>
- Foster, N.E., Anema, J.R., Cherkin, D., Chou, R., Cohen, S.P., Gross, D.P., Ferreira, P.H., Fritz, J.M., Koes, B.W., Peul, W., Turner, J.A., Maher, C.G., Lancet Low Back Pain Series Working Group, 2018. Prevention and treatment of low back pain: evidence, challenges, and promising directions. *Lancet Lond. Engl.* 391, 2368–2383.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30489-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30489-6)
- Fradkin, A.J., Zazryn, T.R., Smoliga, J.M., 2010. Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *J. Strength Cond. Res.* 24, 140–148. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c643a0>
- Freitag, S., Ellegast, R., Dulon, M., Nienhaus, A., 2007. Quantitative measurement of stressful trunk postures in nursing professions. *Ann. Occup. Hyg.* 51, 385–395.
<https://doi.org/10.1093/annhyg/mem018>
- Fujii, N., Fujisawa, K., Dobashi, K., Cao, Y., Matsutake, R., Lai, Y.-F., Nishiyasu, T., 2021. Effects of High-Intensity Exercise Repetition Number During Warm-up on Physiological Responses, Perceptions, Readiness, and Performance. *Res. Q. Exerc. Sport* 1–10. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1950901>
- Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Tobin, M.A., Simango, B., Buote, R., Heerden, D.V., Luan, H., Cullen, K., Slade, L., Taylor, N.G.A., 2020. Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy

- Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review. *JMIR MHealth UHealth* 8, e18694. <https://doi.org/10.2196/18694>
- Garne-Dalgaard, A., Mann, S., Bredahl, T.V.G., Stockkendahl, M.J., 2019. Implementation strategies, and barriers and facilitators for implementation of physical activity at work: a scoping review. *Chiropr. Man. Ther.* 27, 48. <https://doi.org/10.1186/s12998-019-0268-5>
- Gartley, R.M., Prosser, J.L., 2011. Stretching to prevent musculoskeletal injuries. An approach to workplace wellness. *AAOHN J. Off. J. Am. Assoc. Occup. Health Nurses* 59, 247–252. <https://doi.org/10.3928/08910162-20110516-02>
- Gellish, R.L., Goslin, B.R., Olson, R.E., McDonald, A., Russi, G.D., Moudgil, V.K., 2007. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39, 822–829. <https://doi.org/10.1097/mss.0b013e31803349c6>
- Genin, P.M., Pereira, B., Thivel, D., Duclos, M., 2018. Employees' adherence to worksite physical activity programs: Profiles of compliers versus non-compliers. *Work* 60, 507–510. <https://doi.org/10.3233/WOR-182745>
- Genova, A., Dix, O., Saefan, A., Thakur, M., Hassan, A., 2020. Carpal Tunnel Syndrome: A Review of Literature. *Cureus* 12, e7333. <https://doi.org/10.7759/cureus.7333>
- Girard, O., Carbonnel, Y., Candau, R., Millet, G., 2009. Running versus strength-based warm-up: acute effects on isometric knee extension function. *Eur. J. Appl. Physiol.* 106, 573–581. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1047-0>
- Glimskär, B., Lundberg, S., 2013. Barriers to Adoption of Ergonomic Innovations in the Construction Industry. *Ergon. Des.* 21, 26–30. <https://doi.org/10.1177/1064804613488890>
- Govaerts, R., Tassignon, B., Ghillebert, J., Serrien, B., De Bock, S., Ampe, T., El Makrini, I., Vanderborght, B., Meeusen, R., De Pauw, K., 2021. Prevalence and incidence of work-related musculoskeletal disorders in secondary industries of 21st century Europe: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet. Disord.* 22, 751. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04615-9>
- Grier, R.A., 2015. How High is High? A Meta-Analysis of NASA-TLX Global Workload Scores. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 59, 1727–1731. <https://doi.org/10.1177/1541931215591373>
- Grimani, 2019. The effectiveness of workplace nutrition and physical activity interventions in improving productivity, work performance and workability: A Systematic Review. <https://doi.org/10.21203/rs.2.12581/v3>
- Grimbuhler, S., Viel, J.-F., 2018. Physiological Strain in French Vineyard Workers Wearing Protective Equipment to Conduct Re-Entry Tasks in Humid Conditions. *Ann. Work Expo. Health* 62, 1040–1046. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxy056>
- Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., Martínez de Toda, F., 2021. Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. *Food Res. Int.* 139, 109946. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946>
- Haefeli, M., Elfering, A., 2006. Pain assessment. *Eur. Spine J.* 15, S17–S24. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-1044-x>
- Hammami, A., Zois, J., Slimani, M., Russel, M., Bouhlel, E., 2018. The efficacy and characteristics of warm-up and re-warm-up practices in soccer players: a systematic review. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 58, 135–149. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06806-7>
- Hartvigsen, J., Hancock, M.J., Kongsted, A., Louw, Q., Ferreira, M.L., Genevay, S., Hoy, D., Karppinen, J., Pransky, G., Sieper, J., Smeets, R.J., Underwood, M., Lancet Low Back Pain Series Working Group, 2018. What low back pain is and why we need to pay

- attention. *Lancet Lond. Engl.* 391, 2356–2367. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30480-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30480-X)
- Haskell, W.L., Lee, I.-M., Pate, R.R., Powell, K.E., Blair, S.N., Franklin, B.A., Macera, C.A., Heath, G.W., Thompson, P.D., Bauman, A., 2007. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39, 1423–1434. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180616b27>
- Hauke, A., Flintrop, J., Brun, E., Rugulies, R., 2011. The impact of work-related psychosocial stressors on the onset of musculoskeletal disorders in specific body regions: A review and meta-analysis of 54 longitudinal studies. *Work Stress* 25, 243–256. <https://doi.org/10.1080/02678373.2011.614069>
- Hinde, K., Lloyd, R., Low, C., Cooke, C., 2017. The effect of temperature, gradient, and load carriage on oxygen consumption, posture, and gait characteristics. *Eur. J. Appl. Physiol.* 117, 417–430. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3531-7>
- Hockey, R., 2013. *The psychology of fatigue: Work, effort and control*. The psychology of fatigue: Work, effort and control. Cambridge University Press, New York, NY, US. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139015394>
- Hoeger, W.W., Hopkins, D.R., 1992. A comparison of the sit and reach and the modified sit and reach in the measurement of flexibility in women. *Res. Q. Exerc. Sport* 63, 191–195. <https://doi.org/10.1080/02701367.1992.10607580>
- Holloway, E., 1995. Supervision: Its contributions to treatment efficacy. [WWW Document]. URL <https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2F0022-006X.63.2.207> (accessed 6.15.23).
- Holmström, E., Ahlborg, B., 2005. Morning warming-up exercise--effects on musculoskeletal fitness in construction workers. *Appl. Ergon.* 36, 513–519. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.10.015>
- Holtermann, A., Jv, H., H, B., K, S., G, S., 2012. The health paradox of occupational and leisure-time physical activity [WWW Document]. *Br. J. Sports Med.* <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.079582>
- Ilvig, P.M., Bredahl, T.V.G., Justesen, J.B., Jones, D., Lundgaard, J.B., Søgaard, K., Christensen, J.R., 2018. Attendance barriers experienced by female health care workers voluntarily participating in a multi-component health promotion programme at the workplace. *BMC Public Health* 18, 1340. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-6254-3>
- James, S.L., Abate, D., Abate, K.H., Abay, S.M., Abbafati, C., Abbasi, N., Abbastabar, H., Abd-Allah, F., Abdela, J., Abdelalim, A., Abdollahpour, I., Abdulkader, R.S., Abebe, Z., Abera, S.F., Abil, O.Z., Abraha, H.N., Abu-Raddad, L.J., Abu-Rmeileh, N.M.E., Accrombessi, M.M.K., Acharya, D., Acharya, P., Ackerman, I.N., Adamu, A.A., Adebayo, O.M., Adekanmbi, V., Adetokunboh, O.O., Adib, M.G., Adsuar, J.C., Afanvi, K.A., Afarideh, M., Afshin, A., Agarwal, G., Agesa, K.M., Aggarwal, R., Aghayan, S.A., Agrawal, S., Ahmadi, A., Ahmadi, M., Ahmadi, H., Ahmed, M.B., Aichour, A.N., Aichour, I., Aichour, M.T.E., Akinyemiju, T., Akseer, N., Al-Aly, Z., Al-Eyadhy, A., Al-Mekhlafi, H.M., Al-Raddadi, R.M., Alahdab, F., Alam, K., Alam, T., Alashi, A., Alavian, S.M., Alene, K.A., Alijanzadeh, M., Alizadeh-Navaei, R., Aljunid, S.M., Alkerwi, A., Alla, F., Allebeck, P., Alouani, M.M.L., Altirkawi, K., Alvis-Guzman, N., Amare, A.T., Aminde, L.N., Ammar, W., Amoako, Y.A., Anber, N.H., Andrei, C.L., Androudi, S., Anmut, M.D., Anjomshoa, M., Ansha, M.G., Antonio, C.A.T., Anwari, P., Arabloo, J., Arauz, A., Aremu, O., Ariani, F., Armoon, B., Ärnlöv, J., Arora, A., Artaman, A., Aryal, K.K., Asayesh, H., Asghar, R.J., Ataro, Z., Atre, S.R., Ausloos, M., Avila-Burgos, L., Avokpaho, E.F.G.A., Awasthi, A.,

Quintanilla, B.P.A., Ayer, R., Azzopardi, P.S., Babazadeh, A., Badali, H., Badawi, A., Bali, A.G., Ballesteros, K.E., Ballew, S.H., Banach, M., Banoub, J.A.M., Banstola, A., Barac, A., Barboza, M.A., Barker-Collo, S.L., Bärnighausen, T.W., Barrero, L.H., Baune, B.T., Bazargan-Hejazi, S., Bedi, N., Beghi, E., Behzadifar, Masoud, Behzadifar, Meysam, Béjot, Y., Belachew, A.B., Belay, Y.A., Bell, M.L., Bello, A.K., Bensenor, I.M., Bernabe, E., Bernstein, R.S., Beuran, M., Beyranvand, T., Bhala, N., Bhattarai, S., Bhaumik, S., Bhutta, Z.A., Biadgo, B., Bijani, A., Bikbov, B., Bilano, V., Bililign, N., Sayeed, M.S.B., Bisanzio, D., Blacker, B.F., Blyth, F.M., Bou-Orm, I.R., Boufous, S., Bourne, R., Brady, O.J., Brainin, M., Brant, L.C., Brazinova, A., Breitborde, N.J.K., Brenner, H., Briant, P.S., Briggs, A.M., Briko, A.N., Britton, G., Brugha, T., Buchbinder, R., Busse, R., Butt, Z.A., Cahuana-Hurtado, L., Cano, J., Cárdenas, R., Carrero, J.J., Carter, A., Carvalho, F., Castañeda-Orjuela, C.A., Rivas, J.C., Castro, F., Catalá-López, F., Cercy, K.M., Cerin, E., Chaiah, Y., Chang, A.R., Chang, H.-Y., Chang, J.-C., Charlson, F.J., Chattopadhyay, A., Chattu, V.K., Chaturvedi, P., Chiang, P.P.-C., Chin, K.L., Chittheer, A., Choi, J.-Y.J., Chowdhury, R., Christensen, H., Christopher, D.J., Cicuttini, F.M., Ciobanu, L.G., Cirillo, M., Claro, R.M., Collado-Mateo, D., Cooper, C., Coresh, J., Cortesi, P.A., Cortinovis, M., Costa, M., Cousin, E., Criqui, M.H., Cromwell, E.A., Cross, M., Crump, J.A., Dadi, A.F., Dandona, L., Dandona, R., Dargan, P.I., Daryani, A., Gupta, R.D., Neves, J.D., Dasa, T.T., Davey, G., Davis, A.C., Davitoui, D.V., Courten, B.D., Hoz, F.P.D.L., Leo, D.D., Neve, J.-W.D., Degefa, M.G., Degenhardt, L., Deiparine, S., Dellavalle, R.P., Demoz, G.T., Deribe, K., Dervenis, N., Jarlais, D.C.D., Dessie, G.A., Dey, S., Dharmaratne, S.D., Dinberu, M.T., Dirac, M.A., Djalalinia, S., Doan, L., Dokova, K., Doku, D.T., Dorsey, E.R., Doyle, K.E., Driscoll, T.R., Dubey, M., Dubljanin, E., Duken, E.E., Duncan, B.B., Duraes, A.R., Ebrahimi, H., Ebrahimpour, S., Echko, M.M., Edvardsson, D., Effiong, A., Ehrlich, J.R., Bcheraoui, C.E., Zaki, M.E.S., El-Khatib, Z., Elkout, H., Elyazar, I.R.F., Enayati, A., Endries, A.Y., Er, B., Erskine, H.E., Eshrati, B., Eskandarieh, S., Esteghamati, A., Esteghamati, S., Fakhim, H., Omrani, V.F., Faramarzi, M., Fareed, M., Farhadi, F., Farid, T.A., Farinha, C.S.E. sá, Farioli, A., Faro, A., Farvid, M.S., Farzadfar, F., Feigin, V.L., Fentahun, N., Fereshtehnejad, S.-M., Fernandes, E., Fernandes, J.C., Ferrari, A.J., Feyissa, G.T., Filip, I., Fischer, F., Fitzmaurice, C., Foigt, N.A., Foreman, K.J., Fox, J., Frank, T.D., Fukumoto, T., Fullman, N., Fürst, T., Furtado, J.M., Futran, N.D., Gall, S., Ganji, M., Gankpe, F.G., Garcia-Basteiro, A.L., Gardner, W.M., Gebre, A.K., Gebremedhin, A.T., Gebremichael, T.G., Gelano, T.F., Geleijnse, J.M., Genova-Maleras, R., Geramo, Y.C.D., Gething, P.W., Gezae, K.E., Ghadiri, K., Falavarjani, K.G., Ghasemi-Kasman, M., Ghimire, M., Ghosh, R., Ghoshal, A.G., Giampaoli, S., Gill, P.S., Gill, T.K., Ginawi, I.A., Giussani, G., Gnedovskaya, E.V., Goldberg, E.M., Goli, S., Gómez-Dantés, H., Gona, P.N., Gopalani, S.V., Gorman, T.M., Goulart, A.C., Goulart, B.N.G., Grada, A., Grams, M.E., Grosso, G., Gughani, H.C., Guo, Y., Gupta, P.C., Gupta, Rahul, Gupta, Rajeev, Gupta, T., Gyawali, B., Haagsma, J.A., Hachinski, V., Hafezi-Nejad, N., Bidgoli, H.H., Hagos, T.B., Hailu, G.B., Haj-Mirzaian, Arvin, Haj-Mirzaian, Arya, Hamadeh, R.R., Hamidi, S., Handal, A.J., Hankey, G.J., Hao, Y., Harb, H.L., Harikrishnan, S., Haro, J.M., Hasan, M., Hassankhani, H., Hassen, H.Y., Havmoeller, R., Hawley, C.N., Hay, R.J., Hay, S.I., Hedayatizadeh-Omran, A., Heibati, B., Hendrie, D., Henok, A., Herteliu, C., Heydarpour, S., Hibstu, D.T., Hoang, H.T., Hoek, H.W., Hoffman, H.J., Hole, M.K., Rad, E.H., Hoogar, P., Hosgood, H.D., Hosseini, S.M., Hosseinzadeh, M., Hostiuc, M., Hostiuc, S., Hotez, P.J., Hoy, D.G., Hsairi, M., Htet, A.S., Hu, G., Huang, J.J., Huynh, C.K., Iburg, K.M., Ikeda, C.T., Ileanu, B., Ilesanmi, O.S., Iqbal, U., Irvani, S.S.N., Irvine, C.M.S., Islam,

S.M.S., Islami, F., Jacobsen, K.H., Jahangiry, L., Jahanmehr, N., Jain, S.K., Jakovljevic, M., Javanbakht, M., Jayatilleke, A.U., Jeemon, P., Jha, R.P., Jha, V., Ji, J.S., Johnson, C.O., Jonas, J.B., Jozwiak, J.J., Jungari, S.B., Jürisson, M., Kabir, Z., Kadel, R., Kahsay, A., Kalani, R., Kanchan, T., Karami, M., Martin, B.K., Karch, A., Karema, C., Karimi, N., Karimi, S.M., Kasaeian, A., Kassa, D.H., Kassa, G.M., Kassa, T.D., Kassebaum, N.J., Katikireddi, S.V., Kawakami, N., Karyani, A.K., Keighobadi, M.M., Keiyoro, P.N., Kemmer, L., Kemp, G.R., Kengne, A.P., Keren, A., Khader, Y.S., Khafaei, B., Khafaie, M.A., Khajavi, A., Khalil, I.A., Khan, E.A., Khan, M.S., Khan, M.A., Khang, Y.-H., Khazaei, M., Khoja, A.T., Khosravi, A., Khosravi, M.H., Kiadaliri, A.A., Kiirithio, D.N., Kim, C.-I., Kim, D., Kim, P., Kim, Y.-E., Kim, Y.J., Kimokoti, R.W., Kinfu, Y., Kisa, A., Kissimova-Skarbek, K., Kivimäki, M., Knudsen, A.K.S., Kocarnik, J.M., Kochhar, S., Kokubo, Y., Kolola, T., Kopec, J.A., Kosen, S., Kotsakis, G.A., Koul, P.A., Koyanagi, A., Kravchenko, M.A., Krishan, K., Krohn, K.J., Defo, B.K., Bicer, B.K., Kumar, G.A., Kumar, M., Kyu, H.H., Lad, D.P., Lad, S.D., Lafranconi, A., Lalloo, R., Lallukka, T., Lami, F.H., Lansingh, V.C., Latifi, A., Lau, K.M.-M., Lazarus, J.V., Leasher, J.L., Ledesma, J.R., Lee, P.H., Leigh, J., Leung, J., Levi, M., Lewycka, S., Li, S., Li, Y., Liao, Y., Liben, M.L., Lim, L.-L., Lim, S.S., Liu, S., Lodha, R., Looker, K.J., Lopez, A.D., Lorkowski, S., Lotufo, P.A., Low, N., Lozano, R., Lucas, T.C.D., Lucchesi, L.R., Lunevicius, R., Lyons, R.A., Ma, S., Macarayan, E.R.K., Mackay, M.T., Madotto, F., Razek, H.M.A.E., Razek, M.M.A.E., Maghavani, D.P., Mahotra, N.B., Mai, H.T., Majdan, M., Majdzadeh, R., Majeed, A., Malekzadeh, R., Malta, D.C., Mamun, A.A., Manda, A.-L., Manguerra, H., Manhertz, T., Mansournia, M.A., Mantovani, L.G., Mapoma, C.C., Maravilla, J.C., Marcenes, W., Marks, A., Martins-Melo, F.R., Martopullo, I., März, W., Marzan, M.B., Mashamba-Thompson, T.P., Massenburg, B.B., Mathur, M.R., Matsushita, K., Maulik, P.K., Mazidi, M., McAlinden, C., McGrath, J.J., McKee, M., Mehndiratta, M.M., Mehrotra, R., Mehta, K.M., Mehta, V., Mejia-Rodriguez, F., Mekonen, T., Melese, A., Melku, M., Meltzer, M., Memiah, P.T.N., Memish, Z.A., Mendoza, W., Mengistu, D.T., Mengistu, G., Mensah, G.A., Mereta, S.T., Meretoja, A., Meretoja, T.J., Mestrovic, T., Mezerji, N.M.G., Miazgowski, B., Miazgowski, T., Millea, A.I., Miller, T.R., Miltz, B., Mini, G.K., Mirarefin, M., Mirrakhimov, E.M., Misganaw, A.T., Mitchell, P.B., Mitiku, H., Moazen, B., Mohajer, B., Mohammad, K.A., Mohammadifard, N., Mohammadnia-Afrouzi, M., Mohammed, M.A., Mohammed, S., Mohebi, F., Moitra, M., Mokdad, A.H., Molokhia, M., Monasta, L., Moodley, Y., Moosazadeh, M., Moradi, G., Moradi-Lakeh, M., Moradinazar, M., Moraga, P., Morawska, L., Velásquez, I.M., Morgado-Da-Costa, J., Morrison, S.D., Moschos, M.M., Mountjoy-Venning, W.C., Mousavi, S.M., Mruts, K.B., Muche, A.A., Muchie, K.F., Mueller, U.O., Muhammed, O.S., Mukhopadhyay, S., Muller, K., Mumford, J.E., Murhekar, M., Musa, J., Musa, K.I., Mustafa, G., Nabhan, A.F., Nagata, C., Naghavi, M., Naheed, A., Nahvijou, A., Naik, G., Naik, N., Najafi, F., Naldi, L., Nam, H.S., Nangia, V., Nansseu, J.R., Nascimento, B.R., Natarajan, G., Neamati, N., Negoi, I., Negoi, R.I., Neupane, S., Newton, C.R.J., Ngunjiri, J.W., Nguyen, A.Q., Nguyen, Ha Thu, Nguyen, H.L.T., Nguyen, Huong Thanh, Nguyen, L.H., Nguyen, M., Nguyen, N.B., Nguyen, S.H., Nichols, E., Ningrum, D.N.A., Nixon, M.R., Nolutshungu, N., Nomura, S., Norheim, O.F., Noroozi, M., Norrving, B., Noubiap, J.J., Nouri, H.R., Shiadeh, M.N., Nowroozi, M.R., Nsoesie, E.O., Nyasulu, P.S., Odell, C.M., Ofori-Asenso, R., Ogbo, F.A., Oh, I.-H., Oladimeji, O., Olagunju, A.T., Olagunju, T.O., Olivares, P.R., Olsen, H.E., Olusanya, B.O., Ong, K.L., Ong, S.K., Oren, E., Ortiz, A., Ota, E., Otstavnov, S.S., Øverland, S., Owolabi, M.O., A, M.P., Pacella, R., Pakpour, A.H., Pana, A., Panda-Jonas, S., Parisi, A., Park, E.-K., Parry, C.D.H., Patel, S., Pati,

S., Patil, S.T., Patle, A., Patton, G.C., Paturi, V.R., Paulson, K.R., Pearce, N., Pereira, D.M., Perico, N., Pesudovs, K., Pham, H.Q., Phillips, M.R., Pigott, D.M., Pillay, J.D., Piradov, M.A., Pirsahab, M., Pishgar, F., Plana-Ripoll, O., Plass, D., Polinder, S., Popova, S., Postma, M.J., Pourshams, A., Poustchi, H., Prabhakaran, D., Prakash, S., Prakash, V., Purcell, C.A., Purwar, M.B., Qorbani, M., Quistberg, D.A., Radfar, A., Rafay, A., Rafiei, A., Rahim, F., Rahimi, K., Rahimi-Movaghar, A., Rahimi-Movaghar, V., Rahman, M., Rahman, M.H. ur, Rahman, M.A., Rahman, S.U., Rai, R.K., Rajati, F., Ram, U., Ranjan, P., Ranta, A., Rao, P.C., Rawaf, D.L., Rawaf, S., Reddy, K.S., Reiner, R.C., Reinig, N., Reitsma, M.B., Remuzzi, G., Renzaho, A.M.N., Resnikoff, S., Rezaei, S., Rezai, M.S., Ribeiro, A.L.P., Roberts, N.L.S., Robinson, S.R., Roeber, L., Ronfani, L., Roshandel, G., Rostami, A., Roth, G.A., Roy, A., Rubagotti, E., Sachdev, P.S., Sadat, N., Saddik, B., Sadeghi, E., Moghaddam, S.S., Safari, H., Safari, Y., Safari-Faramani, R., Safdarian, M., Safi, S., Safiri, S., Sagar, R., Sahebkar, A., Sahraian, M.A., Sajadi, H.S., Salam, N., Salama, J.S., Salamati, P., Saleem, K., Saleem, Z., Salimi, Y., Salomon, J.A., Salvi, S.S., Salz, I., Samy, A.M., Sanabria, J., Sang, Y., Santomauro, D.F., Santos, I.S., Santos, J.V., Milicevic, M.M.S., Jose, B.P.S., Sardana, M., Sarker, A.R., Sarrafzadegan, N., Sartorius, B., Sarvi, S., Sathian, B., Satpathy, M., Sawant, A.R., Sawhney, M., Saxena, S., Saylan, M., Schaeffner, E., Schmidt, M.I., Schneider, I.J.C., Schöttker, B., Schwebel, D.C., Schwendicke, F., Scott, J.G., Sekerija, M., Sepanlou, S.G., Serván-Mori, E., Seyedmousavi, S., Shabaninejad, H., Shafieesabet, A., Shahbazi, M., Shaheen, A.A., Shaikh, M.A., Shams-Beyranvand, M., Shamsi, M., Shamsizadeh, M., Sharafi, H., Sharafi, K., Sharif, M., Sharif-Alhoseini, M., Sharma, M., Sharma, R., She, J., Sheikh, A., Shi, P., Shibuya, K., Shigematsu, M., Shiri, R., Shirkoohi, R., Shishani, K., Shiue, I., Shokraneh, F., Shoman, H., Shrimel, M.G., Si, S., Siabani, S., Siddiqi, T.J., Sigfusdottir, I.D., Sigurvinsdottir, R., Silva, J.P., Silveira, D.G.A., Singam, N.S.V., Singh, J.A., Singh, N.P., Singh, V., Sinha, D.N., Skiadaresi, E., Slepak, E.L.N., Sliwa, K., Smith, D.L., Smith, M., Filho, A.M.S., Sobaih, B.H., Sobhani, S., Sobngwi, E., Soneji, S.S., Soofi, M., Soosaraei, M., Sorensen, R.J.D., Soriano, J.B., Soyiri, I.N., Sposato, L.A., Sreeramareddy, C.T., Srinivasan, V., Stanaway, J.D., Stein, D.J., Steiner, C., Steiner, T.J., Stokes, M.A., Stovner, L.J., Subart, M.L., Sudaryanto, A., Sufiyan, M.B., Sunguya, B.F., Sur, P.J., Sutradhar, I., Sykes, B.L., Sylte, D.O., Tabarés-Seisdedos, R., Tadakamadla, S.K., Tadesse, B.T., Tandon, N., Tassew, S.G., Tavakkoli, M., Taveira, N., Taylor, H.R., Tehrani-Banihashemi, A., Tekalign, T.G., Tekelemedhin, S.W., Tekle, M.G., Temesgen, H., Temsah, M.-H., Temsah, O., Terkawi, A.S., Teweldemedhin, M., Thankappan, K.R., Thomas, N., Tilahun, B., To, Q.G., Tonelli, M., Topor-Madry, R., Topouzis, F., Torre, A.E., Tortajada-Girbés, M., Touvier, M., Tovani-Palone, M.R., Towbin, J.A., Tran, B.X., Tran, K.B., Troeger, C.E., Truelsen, T.C., Tsilimbaris, M.K., Tsoi, D., Car, L.T., Tuzcu, E.M., Ukwaja, K.N., Ullah, I., Undurraga, E.A., Unutzer, J., Updike, R.L., Usman, M.S., Uthman, O.A., Vaduganathan, M., Vaezi, A., Valdez, P.R., Varughese, S., Vasankari, T.J., Venketasubramanian, N., Villafaina, S., Violante, F.S., Vladimirov, S.K., Vlassov, V., Vollset, S.E., Vosoughi, K., Vujcic, I.S., Wagnew, F.S., Waheed, Y., Waller, S.G., Wang, Y., Wang, Y.-P., Weiderpass, E., Weintraub, R.G., Weiss, D.J., Weldegebreab, F., Weldegewergs, K.G., Werdecker, A., West, T.E., Whiteford, H.A., Widecka, J., Wijeratne, T., Wilner, L.B., Wilson, S., Winkler, A.S., Wiyeh, A.B., Wiysonge, C.S., Wolfe, C.D.A., Woolf, A.D., Wu, S., Wu, Y.-C., Wyper, G.M.A., Xavier, D., Xu, G., Yadgir, S., Yadollahpour, A., Jabbari, S.H.Y., Yamada, T., Yan, L.L., Yano, Y., Yaseri, M., Yasin, Y.J., Yeshaneh, A., Yimer, E.M., Yip, P., Yisma, E., Yonemoto, N., Yoon, S.-J., Yotebieng, M., Younis, M.Z., Yousefifard, M., Yu, C., Zadnik, V.,

- Zaidi, Z., Zaman, S.B., Zamani, M., Zare, Z., Zeleke, A.J., Zenebe, Z.M., Zhang, K., Zhao, Z., Zhou, M., Zodpey, S., Zucker, I., Vos, T., Murray, C.J.L., 2018. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet* 392, 1789–1858. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
- Karpansalo, M., Manninen, P., Lakka, T.A., Kauhanen, J., Rauramaa, R., Salonen, J.T., 2002. Physical Workload and Risk of Early Retirement: Prospective Population-Based Study Among Middle-Aged Men. *J. Occup. Environ. Med.* 44, 930–939.
- Karttunen, J.P., Rautiainen, R.H., 2009. Work Ability Index among Finnish dairy farmers. *J. Agric. Saf. Health* 15, 353–364. <https://doi.org/10.13031/2013.28889>
- Karvonen, J., 1992. Importance of Warm-Up and Cool Down on Exercise Performance. *Med. Sports Train. Coach.* 35, 189–214. <https://doi.org/10.1159/000421152>
- Kay, A.D., Blazevich, A.J., 2012. Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: a systematic review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 44, 154–164. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318225cb27>
- Kennedy, N., Nelson, S., Jerome, R.N., Edwards, T.L., Stroud, M., Wilkins, C.H., Harris, P.A., 2022. Recruitment and retention for chronic pain clinical trials: a narrative review. *PAIN Rep.* 7, e1007. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000001007>
- Kinge, J.M., Knudsen, A.K., Skirbekk, V., Vollset, S.E., 2015. Musculoskeletal disorders in Norway: prevalence of chronicity and use of primary and specialist health care services. *BMC Musculoskelet. Disord.* 16, 75. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0536-z>
- Kirk, M.A., Rhodes, R.E., 2011. Occupation Correlates of Adults' Participation in Leisure-Time Physical Activity: A Systematic Review. *Am. J. Prev. Med.* 40, 476–485. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2010.12.015>
- Kranenborg, S.E., Greve, C., Reneman, M.F., Roossien, C.C., 2023. Side-effects and adverse events of a shoulder- and back-support exoskeleton in workers: A systematic review. *Appl. Ergon.* 111, 104042. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104042>
- Kunkels, Y.K., van Roon, A.M., Wichers, M., Riese, H., 2021. Cross-instrument feasibility, validity, and reproducibility of wireless heart rate monitors: Novel opportunities for extended daily life monitoring. *Psychophysiology* 58, e13898. <https://doi.org/10.1111/psyp.13898>
- Kuoppala, J., Lamminpää, A., Husman, P., 2008. Work health promotion, job well-being, and sickness absences—a systematic review and meta-analysis. *J. Occup. Environ. Med.* 50, 1216–1227. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e31818dbf92>
- Kwak, L., Kremers, S.P.J., van Baak, M.A., Brug, J., 2006. Participation rates in worksite-based intervention studies: health promotion context as a crucial quality criterion. *Health Promot. Int.* 21, 66–69. <https://doi.org/10.1093/heapro/dai033>
- Lacroix, A., Hortobágyi, T., Beurskens, R., Granacher, U., 2017. Effects of Supervised vs. Unsupervised Training Programs on Balance and Muscle Strength in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 47, 2341–2361. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0747-6>
- Ladwig, M.A., 2013. The psychological effects of a pre-workout warm-up: an exploratory study. *J. Multidiscip. Res.* 5, 79–89.
- Landry, M., 2014. Brukner & Khan's Clinical Sports Medicine. *Physiother. Can.* 66, 109–110. <https://doi.org/10.3138/ptc.66.1.rev2>
- Latimer, J., Maher, C.G., Refshauge, K., Colaco, I., 1999. The reliability and validity of the Biering-Sorensen test in asymptomatic subjects and subjects reporting current or

- previous nonspecific low back pain. *Spine* 24, 2085–2089; discussion 2090.
<https://doi.org/10.1097/00007632-199910150-00004>
- Leijten, F.R., van den Heuvel, S.G., Ybema, J.F., van der Beek, A.J., Robroek, S.J., Burdorf, A., 2014. The influence of chronic health problems on work ability and productivity at work: a longitudinal study among older employees. *Scand. J. Work. Environ. Health* 40, 473–482.
- Lertvarayut, T., 2022. Work Ability Among Older Adult Farm Workers in Thailand [WWW Document]. URL <https://doi.org/10.13031/jash.14886> (accessed 6.18.23).
- López-González, M.J., González-Menéndez, E., González, S., Torrano, F., 2021. Study of the interrelationships between musculoskeletal disorders and psychosocial risk factors in occupational health and safety technicians. *Int. J. Occup. Saf. Ergon. JOSE* 1–9.
<https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1902137>
- Lotter, O., Lieb, T., Molsner, J., Breul, V., 2021. Predictors for Clinical Outcomes Related to Upper Extremity Musculoskeletal Disorders in a Healthy Working Population. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 9171. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179171>
- Lötters, F., Meerding, W.-J., Burdorf, A., 2005. Reduced productivity after sickness absence due to musculoskeletal disorders and its relation to health outcomes. *Scand. J. Work. Environ. Health* 31, 367–374.
- Lowe, B.D., Dick, R.B., 2014. Workplace Exercise for Control of Occupational Neck/Shoulder Disorders a Review of Prospective Studies. *Environ. Health Insights* 8s1, EHL.S15256. <https://doi.org/10.4137/EHL.S15256>
- Lowry, V., Desjardins-Charbonneau, A., Roy, J.-S., Dionne, C.E., Frémont, P., MacDermid, J.C., Desmeules, F., 2017. Efficacy of workplace interventions for shoulder pain: A systematic review and meta-analysis. *J. Rehabil. Med.* 49, 529–542.
<https://doi.org/10.2340/16501977-2236>
- Luger, T., Bär, M., Seibt, R., Rimmel, P., Rieger, M.A., Steinhilber, B., 2021. A passive back exoskeleton supporting symmetric and asymmetric lifting in stoop and squat posture reduces trunk and hip extensor muscle activity and adjusts body posture - A laboratory study. *Appl. Ergon.* 97, 103530.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103530>
- Luger, T., Maher, C.G., Rieger, M.A., Steinhilber, B., 2019. Work-break schedules for preventing musculoskeletal symptoms and disorders in healthy workers. *Cochrane Database Syst. Rev.* 7, CD012886. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012886.pub2>
- Macdonald, W., Oakman, J., 2015. Requirements for more effective prevention of work-related musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskelet. Disord.* 16, 293.
<https://doi.org/10.1186/s12891-015-0750-8>
- MacEwen, B.T., MacDonald, D.J., Burr, J.F., 2015. A systematic review of standing and treadmill desks in the workplace. *Prev. Med.* 70, 50–58.
<https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.11.011>
- Maciel, R.R.B.T., Dos Santos, N.C., Portella, D.D.A., Alves, P.G.J.M., Martinez, B.P., 2018. Effects of physical exercise at the workplace for treatment of low back pain: a systematic review with meta-analysis. *Rev. Bras. Med. Trab. Publicacao Of. Assoc. Nac. Med. Trab.-ANAMT* 16, 225–235. <https://doi.org/10.5327/Z1679443520180133>
- Magnussen, L.H., Strand, L.I., Skouen, J.S., Eriksen, H.R., 2009. Long-term follow-up of disability pensioners having musculoskeletal disorders. *BMC Public Health* 9, 407.
<https://doi.org/10.1186/1471-2458-9-407>
- Marin-Farrona, M., Wipfli, B., Thosar, S.S., Colino, E., Garcia-Unanue, J., Gallardo, L., Felipe, J.L., López-Fernández, J., 2023. Effectiveness of worksite wellness programs based on physical activity to improve workers' health and productivity: a systematic review. *Syst. Rev.* 12, 87. <https://doi.org/10.1186/s13643-023-02258-6>

- Marras, W.S., Lavender, S.A., Leurgans, S.E., Fathallah, F.A., Ferguson, S.A., Allread, W.G., Rajulu, S.L., 1995. Biomechanical risk factors for occupationally related low back disorders. *Ergonomics* 38, 377–410. <https://doi.org/10.1080/00140139508925111>
- Massey, B.H., Johnson, W.R., Kramer, G.F., 1961. Effect of Warm-Up Exercise upon Muscular Performance Using Hypnosis to Control the Psychological Variable. *Res. Q. Am. Assoc. Health Phys. Educ. Recreat.* 32, 63–71. <https://doi.org/10.1080/10671188.1961.10762072>
- Matsuo, S., Iwata, M., Miyazaki, M., Fukaya, T., Yamanaka, E., Nagata, K., Tsuchida, W., Asai, Y., Suzuki, S., 2019. Changes in Flexibility and Force are not Different after Static Versus Dynamic Stretching. *Sports Med. Int. Open* 3, E89–E95. <https://doi.org/10.1055/a-1001-1993>
- McCrary, J.M., Ackermann, B.J., Halaki, M., 2015. A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br. J. Sports Med.* 49, 935–942. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094228>
- McGowan, C.J., Pyne, D.B., Thompson, K.G., Rattray, B., 2015. Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports Med.* 45, 1523–1546. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0376-x>
- Medeiros, D.M., Cini, A., Sbruzzi, G., Lima, C.S., 2016. Influence of static stretching on hamstring flexibility in healthy young adults: Systematic review and meta-analysis. *Physiother. Theory Pract.* 32, 438–445. <https://doi.org/10.1080/09593985.2016.1204401>
- Menzel, N.N., 2007. Psychosocial Factors in Musculoskeletal Disorders. *Crit. Care Nurs. Clin. North Am., Safe Patient Handling* 19, 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.ccell.2007.02.006>
- Meyers, J.M., Faucett, J., Tejada, D.G., Kabashima, J., Miles, J.A., Janowitz, I., Duraj, V., Smith, R., Weber, E., 2000. High Risk Tasks for Musculoskeletal Disorders in Agricultural Field Work. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 44, 616–619. <https://doi.org/10.1177/154193120004402232>
- Meyers, J.M., Miles, J.A., Faucett, J., Janowitz, I., Tejada, D.G., Weber, E., Smith, R., Garcia, L., 2004. Priority risk factors for back injury in agricultural field work: vineyard ergonomics. *J. Agromedicine* 9, 433–448.
- Michienzi, A.E., Anderson, C.P., Vang, S., Ward, C.M., 2015. Lateral Epicondylitis and Tobacco Use: A Case-Control Study. *Iowa Orthop. J.* 35, 114–118.
- Milosevic, M., Golubic, R., Knezevic, B., Golubic, K., Bubas, M., Mustajbegovic, J., 2011. Work ability as a major determinant of clinical nurses' quality of life. *J. Clin. Nurs.* 20, 2931–2938. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2011.03703.x>
- Moher, D., Hopewell, S., Schulz, K.F., Montori, V., Gotzsche, P.C., Devereaux, P.J., Elbourne, D., Egger, M., Altman, D.G., 2010. CONSORT 2010 Explanation and Elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ* 340, c869–c869. <https://doi.org/10.1136/bmj.c869>
- Moreira-Silva, I., Teixeira, P.M., Santos, R., Abreu, S., Moreira, C., Mota, J., 2016. The Effects of Workplace Physical Activity Programs on Musculoskeletal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Workplace Health Saf.* 64, 210–222. <https://doi.org/10.1177/2165079916629688>
- Murakami, T., Yarimitsu, S., Sakai, N., Nakashima, K., Yamaguchi, T., Sawae, Y., 2017. Importance of adaptive multimode lubrication mechanism in natural synovial joints. *Tribol. Int.*, 43rd Leeds - Lyon Symposium on Tribology 2016 113, 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.12.052>

- Muzammil, M., Siddiqui, S.S., Hasan, F., 2004. Physiological Effect of Vibrations on Tractor Drivers under Variable Ploughing Conditions. *J. Occup. Health* 46, 403–409. <https://doi.org/10.1539/joh.46.403>
- Neiva, H.P., Marques, M.C., Barbosa, T.M., Izquierdo, M., Marinho, D.A., 2014. Warm-up and performance in competitive swimming. *Sports Med. Auckl. NZ* 44, 319–330. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0117-y>
- Padula, R.S., Comper, M.L.C., Sparer, E.H., Dennerlein, J.T., 2017. Job rotation designed to prevent musculoskeletal disorders and control risk in manufacturing industries: A systematic review. *Appl. Ergon.* 58, 386–397. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.07.018>
- Park, J.H., Moon, J.H., Kim, H.J., Kong, M.H., Oh, Y.H., 2020. Sedentary Lifestyle: Overview of Updated Evidence of Potential Health Risks. *Korean J. Fam. Med.* 41, 365–373. <https://doi.org/10.4082/kjfm.20.0165>
- Parolini, G., 2022. Weather, climate, and agriculture: Historical contributions and perspectives from agricultural meteorology. *WIREs Clim. Change* 13, e766. <https://doi.org/10.1002/wcc.766>
- Parot-Schinkel, E., Descatha, A., Ha, C., Petit, A., Leclerc, A., Roquelaure, Y., 2012. Prevalence of multisite musculoskeletal symptoms: a French cross-sectional working population-based study. *BMC Musculoskelet. Disord.* 13, 122. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-122>
- Pereira, M.J., Coombes, B.K., Comans, T.A., Johnston, V., 2015. The impact of onsite workplace health-enhancing physical activity interventions on worker productivity: a systematic review. *Occup. Environ. Med.* 72, 401–412. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102678>
- Perret, C., Poiraudreau, S., Fermanian, J., Colau, M.M., Benhamou, M.A., Revel, M., 2001. Validity, reliability, and responsiveness of the fingertip-to-floor test. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 82, 1566–1570. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.26064>
- Piranveyseh, P., Motamedzade, M., Osatuke, K., Mohammadfam, I., Moghimbeigi, A., Soltanzadeh, A., Mohammadi, H., 2016. Association between psychosocial, organizational and personal factors and prevalence of musculoskeletal disorders in office workers. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 22, 267–273. <https://doi.org/10.1080/10803548.2015.1135568>
- Planchard, J.-H., Corrion, K., Lehmann, L., d'Arripe-Longueville, F., 2018. Worksite Physical Activity Barriers and Facilitators: A Qualitative Study Based on the Transtheoretical Model of Change. *Front. Public Health* 6. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00326>
- Prieske, O., Dalager, T., Herz, M., Hortobagyi, T., Sjøgaard, G., Sjøgaard, K., Granacher, U., 2019. Effects of Physical Exercise Training in the Workplace on Physical Fitness: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.* 49, 1903–1921. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01179-6>
- Punnett, L., 2014. Musculoskeletal disorders and occupational exposures: how should we judge the evidence concerning the causal association? *Scand. J. Public Health* 42, 49–58. <https://doi.org/10.1177/1403494813517324>
- Punnett, L., Wegman, D.H., 2004. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *J. Electromyogr. Kinesiol., State of the art research perspectives on musculoskeletal disorder causation and control* 14, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.015>
- Racinais, S., Oksa, J., 2010. Temperature and neuromuscular function. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 20 Suppl 3, 1–18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01204.x>

- Reigal, R.E., Barrero, S., Martín, I., Morales-Sánchez, V., Juárez-Ruiz de Mier, R., Hernández-Mendo, A., 2019. Relationships Between Reaction Time, Selective Attention, Physical Activity, and Physical Fitness in Children. *Front. Psychol.* 10, 2278. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02278>
- Robroek, S.J., van Lenthe, F.J., van Empelen, P., Burdorf, A., 2009. Determinants of participation in worksite health promotion programmes: a systematic review. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* 6, 26. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-6-26>
- Romaratezabala, E., Nakamura, F.Y., Castillo, D., Gorostegi-Anduaga, I., Yanci, J., 2018. Influence of warm-up duration on physical performance and psychological perceptions in handball players. *Res. Sports Med. Print* 26, 230–243. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1431536>
- Roquelaure, Y., 2016. Promoting a Shared Representation of Workers' Activities to Improve Integrated Prevention of Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Saf. Health Work* 7, 171–174. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.02.001>
- Roquelaure, Y., Dano, C., Dusolier, G., Fanello, S., Penneau-Fontbonne, D., 2002. Biomechanical strains on the hand-wrist system during grapevine pruning. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 75, 591–595. <https://doi.org/10.1007/s00420-002-0366-9>
- Roquelaure, Y., Jégo, S., Geoffroy-Perez, B., Chazelle, E., Descatha, A., Evanoff, B., Garlantézec, R., Bodin, J., 2020. Carpal Tunnel Syndrome Among Male French Farmers and Agricultural Workers: Is It Only Associated With Physical Exposure? *Saf. Health Work* 11, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2019.12.003>
- Rumeau, V., Grospretre, S., Babault, N., 2023. Post-Activation Performance Enhancement and Motor Imagery Are Efficient to Emphasize the Effects of a Standardized Warm-Up on Sprint-Running Performances. *Sports Basel Switz.* 11, 108. <https://doi.org/10.3390/sports11050108>
- Safi, A., Cole, M., Kelly, A.L., Zariwala, M.G., Walker, N.C., 2022. Workplace Physical Activity Barriers and Facilitators: A Qualitative Study Based on Employees Physical Activity Levels. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19, 9442. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159442>
- Saltin, B., Gagge, A.P., Stolwijk, J.A., 1968. Muscle temperature during submaximal exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 25, 679–688. <https://doi.org/10.1152/jappl.1968.25.6.679>
- Scarlett, A.J., Price, J.S., Stayner, R.M., 2007. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *J. Terramechanics* 44, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2006.01.006>
- Schneider, C., Wiewelhoeve, T., McLaren, S.J., Röleke, L., Käsbauer, H., Hecksteden, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., 2020. Monitoring training and recovery responses with heart rate measures during standardized warm-up in elite badminton players. *PLoS ONE* 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244412>
- Schöpfel, J., 2015. Comprendre la littérature grise. *I2D - Inf. Données Doc.* 52, 30–32. <https://doi.org/10.3917/i2d.151.0030>
- Seidel, E.J., Rother, M., Hartmann, J., Rother, I., Schaaf, T., Winzer, M., Fischer, A., Regenspurger, K., 2012. Eccentric Exercise and Delayed Onset of Muscle Soreness (DOMS) – an Overview. *Phys. Med. Rehabil. Kurortmed.* 22, 57–63. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1304576>
- Shrier, I., 2007. Does Stretching Help Prevent Injuries?, in: *Evidence-Based Sports Medicine*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 36–58. <https://doi.org/10.1002/9780470988732.ch3>
- Sievertsen, H.H., Gino, F., Piovesan, M., 2016. Cognitive fatigue influences students' performance on standardized tests. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 2621–2624. <https://doi.org/10.1073/pnas.1516947113>

- Silva, L.M., Neiva, H.P., Marques, M.C., Izquierdo, M., Marinho, D.A., 2018. Effects of Warm-Up, Post-Warm-Up, and Re-Warm-Up Strategies on Explosive Efforts in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Med. Auckl. NZ* 48, 2285–2299. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0958-5>
- Simic, L., Sarabon, N., Markovic, G., 2013. Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 23, 131–148. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01444.x>
- Sjøgaard, G., Sjøgaard, K., 1998. Muscle injury in repetitive motion disorders. *Clin. Orthop.* 21–31.
- Sjøgaard, K., Sjøgaard, G., 2017. Physical Activity as Cause and Cure of Muscular Pain: Evidence of Underlying Mechanisms. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 45, 136–145. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000112>
- Stathi, A., McKenna, J., Fox, K.R., 2010. Processes associated with participation and adherence to a 12-month exercise programme for adults aged 70 and older. *J. Health Psychol.* 15, 838–847. <https://doi.org/10.1177/1359105309357090>
- Steenstra, I.A., Verbeek, J.H., Heymans, M.W., Bongers, P.M., 2005. Prognostic factors for duration of sick leave in patients sick listed with acute low back pain: a systematic review of the literature. *Occup. Environ. Med.* 62, 851–860. <https://doi.org/10.1136/oem.2004.015842>
- Sundstrup, E., Seeberg, K.G.V., Bengtsen, E., Andersen, L.L., 2020. A Systematic Review of Workplace Interventions to Rehabilitate Musculoskeletal Disorders Among Employees with Physical Demanding Work. *J. Occup. Rehabil.* <https://doi.org/10.1007/s10926-020-09879-x>
- Swain, D.P., Abernathy, K.S., Smith, C.S., Lee, S.J., Bunn, S.A., 1994. Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26, 112–116.
- Swain, D.P., Leutholtz, B.C., King, M.E., Haas, L.A., Branch, J.D., 1998. Relationship between % heart rate reserve and % $\dot{V}O_2$ reserve in treadmill exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30, 318–321.
- Tekin, Y., Ortancil, O., Ankarali, H., Basaran, A., Sarikaya, S., Ozdolap, S., 2009. Biering-Sorensen test scores in coal miners. *Joint Bone Spine* 76, 281–285. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2008.08.008>
- Tissot, F., Messing, K., Stock, S., 2009. Studying the relationship between low back pain and working postures among those who stand and those who sit most of the working day. *Ergonomics* 52, 1402–1418. <https://doi.org/10.1080/00140130903141204>
- Too, L.S., Leach, L., Butterworth, P., 2020. Is the association between poor job control and common mental disorder explained by general perceptions of control? Findings from an Australian longitudinal cohort. *Scand. J. Work. Environ. Health* 46, 311–320. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3869>
- Trinkoff, A.M., Le, R., Geiger-Brown, J., Lipscomb, J., Lang, G., 2006. Longitudinal relationship of work hours, mandatory overtime, and on-call to musculoskeletal problems in nurses. *Am. J. Ind. Med.* 49, 964–971. <https://doi.org/10.1002/ajim.20330>
- Umer, W., Antwi-Afari, M.F., Li, H., Szeto, G.P.Y., Wong, A.Y.L., 2018. The prevalence of musculoskeletal symptoms in the construction industry: a systematic review and meta-analysis. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 91, 125–144. <https://doi.org/10.1007/s00420-017-1273-4>
- van Dongen, J.M., van Wier, M.F., Tompa, E., Bongers, P.M., van der Beek, A.J., van Tulder, M.W., Bosmans, J.E., 2014. Trial-Based Economic Evaluations in Occupational Health. *J. Occup. Environ. Med.* 56, 563–572. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000165>

- Vater, C., Strasburger, H., 2021. Topical Review: The Top Five Peripheral Vision Tools in Sport. *Optom. Vis. Sci. Off. Publ. Am. Acad. Optom.* 98, 704–722.
<https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001732>
- Verschueren, J., Tassignon, B., Pluym, B., Van Cutsem, J., Verhagen, E., Meeusen, R., 2019. Bringing context to balance: development of a reactive balance test within the injury prevention and return to sport domain. *Arch. Physiother.* 9, 6.
<https://doi.org/10.1186/s40945-019-0057-4>
- Villafañe, J.H., Gobbo, M., Peranzoni, M., Naik, G., Imperio, G., Cleland, J.A., Negrini, S., 2016. Validity and everyday clinical applicability of lumbar muscle fatigue assessment methods in patients with chronic non-specific low back pain: a systematic review. *Disabil. Rehabil.* 38, 1859–1871. <https://doi.org/10.3109/09638288.2015.1107777>
- Villumssen, M., Samani, A., Jørgensen, M.B., Gupta, N., Madeleine, P., Holtermann, A., 2015. Are forward bending of the trunk and low back pain associated among Danish blue-collar workers? A cross-sectional field study based on objective measures. *Ergonomics* 58, 246–258. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.969783>
- Wakula, J., Beckmann, T., Hett, M., Landau, K., 2000. Stress-Strain-Analysis of Grapevine Pruning with Powered and Non-Powered Hand Tools. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 44, 639–642. <https://doi.org/10.1177/154193120004402238>
- Wang, D., Dai, F., Ning, X., 2015. Risk Assessment of Work-Related Musculoskeletal Disorders in Construction: State-of-the-Art Review. *J. Constr. Eng. Manag.* 141, 04015008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000979](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000979)
- Weerapong, P., Hume, P.A., Kolt, G.S., 2004. Stretching: Mechanisms and Benefits for Sport Performance and Injury Prevention. *Phys. Ther. Rev.* 9, 189–206.
<https://doi.org/10.1179/108331904225007078>
- Widanarko, B., Legg, S., Stevenson, M., Devereux, J., Eng, A., Mannetje, A. 't, Cheng, S., Douwes, J., Ellison-Loschmann, L., McLean, D., Pearce, N., 2011. Prevalence of musculoskeletal symptoms in relation to gender, age, and occupational/industrial group. *Int. J. Ind. Ergon.* 41, 561–572. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.06.002>
- Wise, J.M., Heaton, K., Patrician, P., 2019. Fatigue in Long-Haul Truck Drivers: A Concept Analysis. *Workplace Health Saf.* 67, 68–77.
<https://doi.org/10.1177/2165079918800509>
- Woods, K., Bishop, P., Jones, E., 2007. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med. Auckl. NZ* 37, 1089–1099. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737120-00006>
- Woolf, A.D., Erwin, J., March, L., 2012. The need to address the burden of musculoskeletal conditions. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 26, 183–224.
<https://doi.org/10.1016/j.berh.2012.03.005>
- Xu, Y.-W., Cheng, A.S.K., Li-Tsang, C.W.P., 2013. Prevalence and risk factors of work-related musculoskeletal disorders in the catering industry: a systematic review. *Work Read. Mass* 44, 107–116. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-1375>
- Yamaguchi, T., Ishii, K., 2005. Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J. Strength Cond. Res.* 19, 677–683.
<https://doi.org/10.1519/15044.1>
- Yazdani, A., Neumann, W.P., Imbeau, D., Bigelow, P., Pagell, M., Wells, R., 2015. Prevention of musculoskeletal disorders within management systems: A scoping review of practices, approaches, and techniques. *Appl. Ergon.* 51, 255–262.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.05.006>
- Yazdani, A., Wells, R., 2018. Barriers for implementation of successful change to prevent musculoskeletal disorders and how to systematically address them. *Appl. Ergon.* 73, 122–140. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.05.004>

- Zabrzyński, J., Szukalski, J., Paczesny, Ł., Szwedowski, D., Grzanka, D., 2019. Cigarette smoking intensifies tendinopathy of the LHBT. A microscopic study after arthroscopic treatment. *Pol. J. Pathol.* 70, 134–138. <https://doi.org/10.5114/pjp.2019.87104>
- Zhang, W., McLeod, C., Koehoorn, M., 2016. The relationship between chronic conditions and absenteeism and associated costs in Canada. *Scand. J. Work. Environ. Health* 42, 413–422. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3583>
- Zmijewski, P., Lipinska, P., Czajkowska, A., Mróz, A., Kapuściński, P., Mazurek, K., 2020. Acute Effects of a Static Vs. a Dynamic Stretching Warm-up on Repeated-Sprint Performance in Female Handball Players. *J. Hum. Kinet.* 72, 161–172. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0043>

ANNEXES

Annexe 1. Contribution 1

Larinier, N., Balaguier, R., & Vuillerme, N. (2020). How much do we know about the effectiveness of warm-up intervention on work related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions: protocol for a systematic review. BMJ open, 10(11), e039063.

How much do we know about the effectiveness of warm-up intervention on work related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions: protocol for a systematic review.

Nicolas Larinier^{1,2}, Balaguier Romain^{1,2}, Vuillerme Nicolas^{1,2,3}

¹ Univ. Grenoble-Alpes, AGEIS, Grenoble, France

² Opti'Mouv, St Paul, France

³ Institut Universitaire de France, Paris, France

Registration

This protocol has been registered in PROSPERO (CRD42019137211)

Key-words

Pain / injuries / intervention / workers / physical activity

Funding statement

This review is part of a PhD thesis-project conducted in the University of Grenoble Alpes and Opti'Mouv. The research project is promoted by the University of Grenoble Alpes and partially financed by the “Ministère de l’Enseignement Supérieur et de la Recherche” via the “Association Nationale Recherche Technologie” (ANRT) by means of the “Convention Industrielle de Formation par la Recherche” (CIFRE) grant (n° 2019/0488). The founding source has no role in the study design, data collection, results interpretation or manuscript writing.

Abstract

Introduction

Work related musculoskeletal disorders (WMSDs) are a growing worldwide burden and effective interventions to prevent them are needed. Physical activity at the workplace is now recognized as a relevant component of WMSDs prevention. Along these lines, warm-up interventions are now offered in a large number of companies to manage WMSDs. Although benefits of warm-up have been previously documented in sports context, to the best of our knowledge, the effectiveness of such intervention in workplaces still remains to be established. Within this context, the aim of the present review is to identify from published literature the available evidence regarding the effects of warm-up on WMSDs and physical and psychosocial functions.

Methods

The following electronic databases will be searched (from inception onwards to June 2020): Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), PubMed (Medline), Web of Science and Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Randomized and non-randomized controlled studies will be included in this review. Participants should be adult employees without specific comorbidities. Interventions should include a warm-up physical intervention in real-workplaces. The primary outcomes will be pain, discomfort or fatigue. The secondary outcomes will be job control or motivation at work. This review will follow the PRISMA guidelines and two team members will independently screen all citations, full-text articles, and abstract data. A systematic narrative synthesis will be provided with information presented in the text and tables to summarize the characteristics and findings of the included studies.

Introduction

Work related musculoskeletal disorders (WMSDs) are conditions affecting muscles, tendons, nerves, ligaments, joints or spinal discs¹. They are now considered as a public health problem all over the world since their adverse consequences on quality of life and work participation are important²⁻⁶. This underlines the importance of finding effective prevention or curative strategies/interventions. In the last two decades, numerous researchers have identified the workplace as an ideal setting to support the promotion of healthier lifestyle and to prevent WMSDs⁷⁻⁹. Hence, the use of workplace physical activity interventions for the management of WMSDs is now well supported by scientific evidence¹⁰⁻¹⁶. Interestingly, WMSDs are conditions commonly characterized by the presence of pain or decreased function⁹. Therefore, workplace physical activity interventions often focus on numerous outcomes related to the individual such as pain, discomfort or fatigue^{10,15-17}, physical function such as strength, flexibility or endurance⁸ and psychosocial function such as quality of life, job satisfaction or well-being^{18,19}. In theory, the workplace environment does offer the possibility to reach and to raise awareness of a large number of workers²⁰. However, workplace physical activity programs are less often offered and performed by those at risk of developing WMSDs (i.e. low-status, low income and blue-collar workers^{7,21,22}). Furthermore, a 40-60% compliance is commonly observed whatever the duration of the programs²³⁻²⁸. It is presumable that these observations could partly stem from 'practical' barriers to offer physical activity at the workplace, such as time constraints, time of the day and duration of the training sessions²⁹⁻³³. In other words, programs should be easy to implement in the daily routine of the employees as well as of the employers. This application recommendation is supported by scientific results that shown that short bouts of exercises are easier to fit in organizational routines than long sessions^{34,35}. For instance, Andersen et al³⁴ in a 10 weeks workplace physical activity program among office-workers, have compared the effects of a same weekly training volume, i.e. 1 hour performed with different training frequencies (from 1 session per week to 9 sessions per week) on training adherence. These authors have reported that adherence among office-workers was significantly higher when the training volume was divided at least into 3 weekly training sessions.

In the last few years, the implementation of physical warm-up prior the beginning of the working days is increasingly adopted in companies to manage WMSDs (INRS 2018). In these companies, it is common to observe warm-up lasting between 5 and 15 minutes a day as well supervised by professionals such as sport trainer or physiotherapist as trained employees³⁶.

Previous reviews have found positive effects of warm-up on performance³⁷ and injury prevention in sports³⁷⁻⁴¹. However, it is surprising that data on the effects of warm-up on WMSD are scarce and, when available, lead to rather conflicting/inconclusive results⁴²⁻⁴⁴. Within this context, the aim of this systematic review will be to evaluate the effectiveness of workplace warm-up interventions on WMSDs and physical and psychosocial functions among workers.

Methods

The present review protocol is being reported in accordance with the reporting guidance the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Protocols (PRISMA-P) statement⁴⁵ (see PRISMA-P checklist in Additional file 1). This review protocol was registered within the International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) (registration number: CRD42019137211) This review will be reported in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) statement.

Criteria for considering studies for this review

Type of studies

Original quantitative research studies that assessed the effect of a warm-up intervention in a workplace setting aiming at preventing WMSDs or musculoskeletal pain or discomfort or fatigue in the worker will be included in the review.

As correctly argued, RCT are considered as the gold standard to assess the effectiveness of an intervention⁴⁶. However, its implementation in occupational setting may not always be feasible and its implementation is called into question^{1,47-51}. In that specific case, recent studies have suggested that non-RCT may maximize the body of evidence and have suggested including non-RCT in systematic-reviews⁵²⁻⁵⁴. For these reasons and as previously done in recent systematic reviews covering the scope of the present review^{10,49}, both randomized and non-randomized controlled studies will be included. Therefore, quasi-RCTs (participants not randomly allocated), cluster randomized trials (i.e. randomization of a group of people for example randomization at a company level), preference trials (patients can choose their treatment) and before-and-after study are design which will be included.”

Period of studies publication was defined from inception onwards to June 2020. Finally, to be eligible for inclusion, studies had to be published in English in peer-reviewed scientific journals^{19,49}. As only studies in English will be included and may lead to reporting bias, we will report potentially eligible studies in other languages.

The following types of studies will be ineligible: case reports, abstracts, editorials, conference abstracts, letters to the editor, reviews, and meta-analysis. Studies will be also excluded if the intervention was partially or totally implemented outside of the workplace, e.g. in a clinical setting and if the intervention was implemented in combination with another intervention, e.g. ergonomics. Therefore, studies will be excluded when differences can not only be attributed only to the warm-up intervention.

Types of participants

This review will include adult employees (18 years of age or older) and will exclude adults with specific comorbidities or diseases (such as diabetes, arthritis, cancer, stroke) and/or special populations (pregnant, severe or rare physical disability, or cognitive disability).

Types of intervention

This review will include studies which have implemented warm-up interventions in real workplaces. To facilitate the comprehension of a warm-up intervention, we will use the definition given by McCrary et al³⁷, i.e. “a warm-up is a protocol specifically undertaken to prepare the onset of subsequent physical activity”, in our case a working activity.

As recently used in a systematic review by Luger et al⁵⁵, to describe work-break programs and a study by Slade and Keating⁵⁶ about exercise prescription, we will characterize the warm-up intervention with the following four components:

- (1) duration: warm-up may last from five minutes to one hour;
- (2) frequency: warm-up may differ in number;
- (3) type: warm-up may be stretching as well as cardio-training exercises or combination of strengthening exercises; and
- (4) intensity: warm-up may be performed with/without load or performed at a low or high percentage of the maximum heart rate.

Studies will be excluded from this review if the warm-up intervention was partially or totally implemented outside of the workplace, e.g. in a clinical setting or under laboratory conditions and if the warm-up intervention was implemented in combination with another intervention, e.g. ergonomics.

Comparator

Inclusion criteria: We will consider studies that compared the warm-up intervention with a non-treatment control group (e.g. no intervention or usual activity or another type of

workplace physical activity) or a non-active comparator (e.g. leaflets on benefits of physical activity)

Exclusion criteria: Studies with no comparison measures.

Types of outcome measures

Main outcomes

WMSDs are defined as a group of conditions or health problems affecting the locomotor apparatus. These conditions are characterized by pain, impaired function, overall fatigue and stress^{9,57}. Therefore, among primary outcomes we will include all the outcomes associated with work related musculoskeletal issues, that are (1) participant's musculoskeletal pain through the use of pain scales (e.g. numeric rating scale (NRS) or visual analog scale (VAS)) or questionnaire (e.g. McGill pain questionnaire)⁵⁵ and (2) participant discomfort or fatigue^{10,55} through validated scales and (3) physical function as measured or estimated by questionnaires, scales, performances and/or specific tests. Dichotomous data such as presence/absence of symptoms will be also considered.

Secondary outcomes

For the prevention of the consequences of WMSDs we will include – if possible – and as secondary outcomes, all the outcomes associated with psychosocial function such as the measure of quality of life, job satisfaction, job control or motivation at work. In this review job control is considered as an indicator of psychosocial stress at work⁵⁸. This indicator is often measured with the job demand-control support model developed by Karasek⁵⁸.

Information sources and search strategy

Four electronic databases - Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), PubMed (Medline), Web of Science and Physiotherapy Evidence Database (PEDro) – will be searched systematically from inception onwards to identify studies satisfying the search criteria. Note that these databases have previously used in published reviews covering the scope of this review^{49,55,59,60}. The proposed search strategy terms for Medline are listed in Table 1 and will be modified to fit the index system of other databases.

Keywords	
1	Workplace[Mesh]
2	Work* ti,ab
3	Employ* ti,ab
4	Compan* ti,ab
5	1 OR 2 OR 3 OR 4
6	Warm-Up Exercise[Mesh]
7	Pre-shift ti,ab
8	Pre-exercise* ti,ab
9	Pre-activit* ti,ab
10	6 OR 7 OR 8 OR 9
11	Musculoskeletal diseases[Mesh]
12	Pain[Mesh]
13	Musculoskeletal Pain[Mesh]
14	WMSD* ti,ab
15	Pain ti,ab
16	(endurance or strength or flexibility) ti,ab
17	(quality of life or job satisfaction or work ability or well-being or stress or disabilit* or health or discomfort or comfort or fatigue or injur*) ti,ab
18	11 OR 12 OR 13 OR 14 OR 15 OR 16 OR 17
Combining search terms	
20	5 AND 10 AND 18

Table 1. Sample MEDLINE search strategy terms (Mesh: Mesh terms ; ti: tittle ; ab: abstract)

Additional intended information sources

To be sure not to miss relevant studies for the review, the reference list of for all eligible articles will be checked. Then, a grey literature search will be performed on ClinicalTrials.gov. Finally, experts in this domain will be contacted to collect information on unknown or ongoing studies

Data collection

Study selection process

All studies that met inclusion criteria passed through a data extraction and quality assessment process performed by two independent reviewers. A third reviewer will be requested to resolve disagreement when consensus could not be reached. Reviewers will not be blinded to study author(s) or journal title. At stage 1, two independent reviewers will screen abstract and titles identified from the search strategy. At stage 2, the same two reviewers will screen the full-text articles for inclusion. At this stage, all reasons for exclusion of articles will be recorded and reported. Finally, the relevant studies, which respect eligibility criteria, will be screened by a senior review team member (NV) to be included in the systematic review.

Data extraction and management

First a data extraction form will be created and validated by the three team members. This data collection form will be fulfilled by one team member (NL) and corrected by another team member (RB). Any disagreement between the two reviewers will be resolved by consensus or discussion with the senior review team member (NV). This extraction form could be modified from the information collected in the eligible studies but should at least specify the following information^{59,61,62}:

- General: authors, year of publication, journal's name, source of funding (if any) and country of the study;
- Methods: study design, total duration of study, follow-up when data were collected, study setting and withdrawals;
- Participants: number, age, gender, inclusion/exclusion criteria, type of workplace or job task, health of the workers/health status, i.e. asymptomatic or symptomatic, year of work experience;
- Interventions: description of the type, duration, frequency, intensity, supervision of the warm-up program, description/content of the comparison/control group and number of participants allocated to each group;
- Data collection: primary and secondary outcomes, measurement tools, questionnaires, tests;

- Statistical tests;
- Main results

Risk of bias (quality) assessment

Two team members (NL and RB) will independently assess the risk of bias for each included study. Any disagreement between team members will be solved by consensus or discussion with the third team member. As both randomized and non-randomized controlled studies will be included in this review, two risk of bias tools will be used.

For RCT

The Cochrane tool for assessing risk of bias from the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions will be used to assess potential biases of the included studies. This tool is a well-known and validated instrument to assess the risk of bias in RCTs⁶³. This tool has been revised in 2019⁶⁴ and has now 5 domains to assess bias arising from: (1) randomization process, (2) deviation from the intended intervention, (3) missing outcome data, (4) measurement of the outcome and (5) selection of the reported result. Each domain will be scored as follow (see Table 2): “high risk of bias”, “low risk of bias” and “some concerns”.

For non RCT

The Risk Of Bias In Non-randomized Studies - of Interventions (ROBINS-I) will be used to assess potential biases of the included non-RCT⁶⁵. This tool has 7 domains to assess bias arising from (1) confounding, (2) selection of participants, (3) classification of the intervention, (4) deviations from the intended intervention, (5) missing data, (6) measurement of outcomes and (7) selection of the reported result.

Overall risk of bias judgement	Criteria
Low risk of bias	The study is judged to be at low risk of bias for all domains for this result
Some concerns	The study is judged to be at high risk of bias in at least one domain for this result, but not to be at high risk of bias for any domain
High risk of bias	The study is judged to be at high risk of bias in at least one domain for this result Or The study is judged to have some concerns for multiple domains in a way that substantially lowers confidence in the result.

Table 2. Risk of bias judgement for a specific domain (from Sterne et al. 2019).

Measures of treatment effect

For studies using continuous data, treatment effect will be reported as mean difference with 95% CI. In case the studies evaluate the same outcome with different scales, standardized mean difference (SMD) with 95% CI will be calculated. Regarding dichotomous/categorical variables, the treatment effect will be calculated using the relative risk (RR) with 95% CI⁶⁶⁻⁶⁹. Since the number of included studies is greater than 5⁶⁷ and when these studies are considered as sufficiently homogeneous, outcome data will be synthesized using a random effect meta-analysis^{55,68,70,71}. If meta-analysis is not possible due to heterogeneity or if the outcomes cannot be pooled, a narrative synthesis will be performed using text and table formats. Results will be also presented in forest plots.

Assessment of statistical heterogeneity

Statistical heterogeneity, defined as variability in the intervention effects will be estimated using the Chi² test, with Chi² p>0.10 provides significant evidence of heterogeneity. Chi² assesses whether heterogeneity is only due to chance. To ensure a right comprehension of heterogeneity, Chi² will be completed with *I*² statistics particularly relevant when studies have small sample size or are few in numbers. Heterogeneity will be categorized as follows⁷¹:

- 0-40%: not be important

- 30-60%: moderate heterogeneity
- 50-90% substantial heterogeneity
- 75-100%: considerable heterogeneity

Quality assessment and strategy for data synthesis

To assess quality of evidence of the included studies the Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation (GRADE) approach⁷² will be used. This approach grades studies as followed: very low, low, moderate and high. As suggested by Bordado et al¹⁹, the quality assessment will be based on the findings in data extraction, and will follow the domains of quality evaluation in the GRADE approach: risk of bias, inconsistency, indirectness and imprecision. Two team members (NL and RB) will independently assess the quality of evidence of the included studies with the GRADE approach.

Analysis of subgroups or subsets

In case a sufficient number of studies are included in the review, a subgroup analysis will be performed. The latter will be carried out for each outcome and for the following factors: (1) participants' characteristics (e.g. sex, age. If possible authors will compare participants aged 40 years and younger with participants aged 41 years and older), (2) WMSDs location (e.g. neck *versus* low back *versus* upper extremities), (3) occupational activity (e.g. active *versus* sedentary jobs), (4) length of intervention, (5) study design (e.g. RCT *versus* non-RCT) and (6) comparison group type (e.g. passive *versus* active control group)^{55,69} and (7) implementation warm-up intervention (supervised *versus* non supervised)⁷³.

Sensitivity analysis

The authors of the present systematic review planned to perform sensitivity analysis to determine whether our findings are affected by high risk of bias and baseline pain. They also planned to combine the outcomes concerning pain, discomfort or fatigue and physical function. To perform sensitivity analysis, studies will be considered to be at high risk of bias if one of the main biases would be rated unclear or high risk (i.e. random sequence allocation, allocation concealment, incomplete outcome data or selective outcome reporting⁶²). Concerning pain, the low-intensity pain threshold was defined as 3 out of 10 on a pain intensity scale^{74,75}.

Ethics and Dissemination

No ethic committee was required to conduct this review. However, all included studies in this review will follow current ethical standard and will be in accordance with the Declaration of

Helsinki. The results of this review will be submitted for publication to a peer-reviewed high-impact academic journal. Other dissemination may include presentations at international conferences, seminars and note to social media to influence decision makers.

Discussion

Workplace physical activity is now well recognized as a potential intervention to prevent WMSDs^{7,8,11-17}. Although benefits of a warm-up have been previously documented in sports context³⁷⁻⁴¹, to the best of our knowledge, the effectiveness of such intervention in workplaces remains to be established. Interestingly, the primary outcome analyzed in this review will be associated with WMSDs such as pain, discomfort or fatigue. The secondary outcomes will be related to physical or psychosocial functions. All these outcomes recognized to be decreased in case of WMSDs are also the main outcomes reported in studies assessing the effects on an intervention on WMSDs¹⁰⁻¹⁶. For these reasons, these findings could constitute a solid starting point to help clinicians, researchers, companies and policy-makers trying to reduce the burden of WMSDs.

Limitations and strengths

Our review presents several strengths. The major strength is the systematic procedure employed. In this sense, a large number of scientific databases will be searched. Then, two reviewers will independently screen articles, rate the quality of these studies and the risk of bias. Finally, the use of recommended standard reporting instruments such as PRISMA-P, ROBINS-I and GRADE will strengthen the recommendations that should be made at the end of the review. At this point, however, we are aware that the potential strength of this review could be reduced by the lack of high quality trials and high heterogeneity. Firstly, the recent scientific literature confirms that RCT in a workplace context are, of course possible but rare^{34,76-78}. In this sense, numerous authors have concluded that considerable efforts had to be made to overcome difficulties to implement such study design, but also to recruit a large number of employees^{1,46-48,79}. To deal with this heterogeneity, the authors have pre-planned to perform a subgroup and a sensitivity analysis. This choice will allow knowing whether or not the intervention effects differ between trials. Then, we are also aware that including both RCT and non-RCT will therefore lead to downgrade the validity and strength of the review and will increase the risk of bias especially for the blinding and generation domains⁶⁹. Secondly, a recent review of literature by Johnson et al⁸⁰ on how outcomes are measured in workplace physical activity interventions have reported heterogeneous measurement tools and data

collection making comparisons between studies rather difficult. To conclude, although the researchers do not anticipate protocol amendments, issues that arise with the original protocol will be documented in the review paper under the methodology section.

Abbreviations

GRADE: Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation

NRS: Numeric rating scale

PRISMA-P: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Protocols

RCT: Randomized controlled trial

ROBINS: Risk Of Bias In Non-randomized Studies - of Interventions

VAS: Visual analog scale

WMSDS: Work related musculoskeletal disorders

References

1. Punnett, L. Musculoskeletal disorders and occupational exposures: how should we judge the evidence concerning the causal association? *Scand. J. Public Health* 42, 49–58 (2014).
2. Bayattork, M. et al. Musculoskeletal pain in multiple body sites and work ability in the general working population: cross-sectional study among 10,000 wage earners. *Scand. J. Pain* 19, 131–137 (2019).
3. Bevan, S. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 29, 356–373 (2015).
4. Woolf, A. D., Erwin, J. & March, L. The need to address the burden of musculoskeletal conditions. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 26, 183–224 (2012).
5. Blyth, F. M., Briggs, A. M., Schneider, C. H., Hoy, D. G. & March, L. M. The Global Burden of Musculoskeletal Pain—Where to From Here? *Am. J. Public Health* 109, 35–40 (2019).
6. James, S. L. et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet* 392, 1789–1858 (2018).
7. Holtermann, A., Mathiassen, S. E. & Straker, L. Promoting health and physical capacity during productive work: the Goldilocks Principle. *Scand. J. Work. Environ. Health* 45, 90–97 (2019).
8. Sjøgaard, G. et al. Exercise is more than medicine: The working age population’s well-being and productivity. *J. Sport Health Sci.* 5, 159–165 (2016).
9. Sjøgaard, K. & Sjøgaard, G. Physical Activity as Cause and Cure of Muscular Pain: Evidence of Underlying Mechanisms. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 45, 136–145 (2017).
10. Hoosain, M., de Klerk, S. & Burger, M. Workplace-Based Rehabilitation of Upper Limb Conditions: A Systematic Review. *J. Occup. Rehabil.* 29, 175–193 (2019).
11. Chen, X. et al. Workplace-Based Interventions for Neck Pain in Office Workers: Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys. Ther.* 98, 40–62 (2018).
12. Coury, H. J. C. G., Moreira, R. F. C. & Dias, N. B. Evaluation of the effectiveness of workplace exercise in controlling neck, shoulder and low back pain: a systematic review. *Braz. J. Phys. Ther.* 13, 461–479 (2009).
13. Moreira-Silva, I. et al. The Effects of Workplace Physical Activity Programs on Musculoskeletal Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Workplace Health Saf.* 64, 210–222 (2016).
14. Rodrigues, E. V. et al. Effects of exercise on pain of musculoskeletal disorders: a systematic review. *Acta Ortopédica Bras.* 22, 334–338 (2014).
15. Skamagki, G., King, A., Duncan, M. & Wåhlin, C. A systematic review on workplace interventions to manage chronic musculoskeletal conditions. *Physiother. Res. Int. J. Res. Clin. Phys. Ther.* 23, e1738 (2018).
16. Proper, K. I. & van Oostrom, S. H. The effectiveness of workplace health promotion interventions on physical and mental health outcomes - a systematic review of reviews. *Scand. J. Work. Environ. Health* (2019) doi:10.5271/sjweh.3833.
17. Van Eerd, D. et al. Effectiveness of workplace interventions in the prevention of upper extremity musculoskeletal disorders and symptoms: an update of the evidence. *Occup. Environ. Med.* 73, 62–70 (2016).

18. Abdin, S., Welch, R. K., Byron-Daniel, J. & Meyrick, J. The effectiveness of physical activity interventions in improving well-being across office-based workplace settings: a systematic review. *Public Health* 160, 70–76 (2018).
19. Bordado Sköld, M., Bayattork, M., Andersen, L. L. & Schlünssen, V. Psychosocial effects of workplace exercise - A systematic review. *Scand. J. Work. Environ. Health* (2019) doi:10.5271/sjweh.3832.
20. Kuoppala, J., Lamminpää, A. & Husman, P. Work health promotion, job well-being, and sickness absences--a systematic review and meta-analysis. *J. Occup. Environ. Med.* 50, 1216–1227 (2008).
21. Jørgensen, M. B., Villadsen, E., Burr, H., Mortensen, O. S. & Holtermann, A. Does workplace health promotion in Denmark reach relevant target groups? *Health Promot. Int.* 30, 318–327 (2015).
22. Macniven, R., Engelen, L., Kacen, M. J. & Bauman, A. Does a corporate worksite physical activity program reach those who are inactive? Findings from an evaluation of the Global Corporate Challenge. *Health Promot. J. Aust. Off. J. Aust. Assoc. Health Promot. Prof.* 26, 142–145 (2015).
23. Andersen, C. H., Andersen, L. L., Zebis, M. K. & Sjøgaard, G. Effect of scapular function training on chronic pain in the neck/shoulder region: a randomized controlled trial. *J. Occup. Rehabil.* 24, 316–324 (2014).
24. Hagberg, M., Harms-Ringdahl, K., Nisell, R. & Hjelm, E. W. Rehabilitation of neck-shoulder pain in women industrial workers: a randomized trial comparing isometric shoulder endurance training with isometric shoulder strength training. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 81, 1051–1058 (2000).
25. Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Brandt, M. & Andersen, L. L. Factors affecting pain relief in response to physical exercise interventions among healthcare workers. *Scand. J. Med. Sci. Sports* (2016) doi:10.1111/sms.12802.
26. Jay, K. et al. Kettlebell training for musculoskeletal and cardiovascular health: a randomized controlled trial. *Scand. J. Work. Environ. Health* 37, 196–203 (2011).
27. Jay, K. et al. Effect of Individually Tailored Biopsychosocial Workplace Interventions on Chronic Musculoskeletal Pain and Stress Among Laboratory Technicians: Randomized Controlled Trial. *Pain Physician* 18, 459–471 (2015).
28. Viljanen, M. et al. Effectiveness of dynamic muscle training, relaxation training, or ordinary activity for chronic neck pain: randomised controlled trial. *BMJ* 327, 475 (2003).
29. Andersen, L. L. & Zebis, M. K. Process Evaluation of Workplace Interventions with Physical Exercise to Reduce Musculoskeletal Disorders. *Int. J. Rheumatol.* 2014, (2014).
30. Bredahl, T. V. G., Særvoll, C. A., Kirkelund, L., Sjøgaard, G. & Andersen, L. L. When Intervention Meets Organisation, a Qualitative Study of Motivation and Barriers to Physical Exercise at the Workplace. *ScientificWorldJournal* 2015, 518561 (2015).
31. Chau, J. Y. et al. ‘In Initiative Overload’: Australian Perspectives on Promoting Physical Activity in the Workplace from Diverse Industries. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 16, (2019).
32. Planchard, J.-H., Corrion, K., Lehmann, L. & d’Arripe-Longueville, F. Worksite Physical Activity Barriers and Facilitators: A Qualitative Study Based on the Transtheoretical Model of Change. *Front. Public Health* 6, 326 (2018).
33. Wierenga, D. et al. What is actually measured in process evaluations for worksite health promotion programs: a systematic review. *BMC Public Health* 13, 1190 (2013).

34. Andersen, C. H. et al. Influence of frequency and duration of strength training for effective management of neck and shoulder pain: a randomised controlled trial. *Br. J. Sports Med.* 46, 1004–1010 (2012).
35. Dalager, T. et al. Does training frequency and supervision affect compliance, performance and muscular health? A cluster randomized controlled trial. *Man. Ther.* 20, 657–665 (2015).
36. Balaguier, R., Madeleine, P., Rose-Dulcina, K. & Vuillerme, N. Effects of a Worksite Supervised Adapted Physical Activity Program on Trunk Muscle Endurance, Flexibility, and Pain Sensitivity Among Vineyard Workers. *J. Agromedicine* 22, 200–214 (2017).
37. McCrary, J. M., Ackermann, B. J. & Halaki, M. A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br. J. Sports Med.* 49, 935–942 (2015).
38. Fradkin, A. J., Zazryn, T. R. & Smoliga, J. M. Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *J. Strength Cond. Res.* 24, 140–148 (2010).
39. Hammami, A., Zois, J., Slimani, M., Russel, M. & Bouhlel, E. The efficacy and characteristics of warm-up and re-warm-up practices in soccer players: a systematic review. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 58, 135–149 (2018).
40. Neiva, H. P., Marques, M. C., Barbosa, T. M., Izquierdo, M. & Marinho, D. A. Warm-up and performance in competitive swimming. *Sports Med. Auckl. NZ* 44, 319–330 (2014).
41. Silva, L. M., Neiva, H. P., Marques, M. C., Izquierdo, M. & Marinho, D. A. Effects of Warm-Up, Post-Warm-Up, and Re-Warm-Up Strategies on Explosive Efforts in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Med. Auckl. NZ* 48, 2285–2299 (2018).
42. Aje, O. O., Smith-Campbell, B. & Bett, C. Preventing Musculoskeletal Disorders in Factory Workers: Evaluating a New Eight Minute Stretching Program. *Workplace Health Saf.* 66, 343–347 (2018).
43. Gartley, R. M. & Prosser, J. L. Stretching to prevent musculoskeletal injuries. An approach to workplace wellness. *AAOHN J. Off. J. Am. Assoc. Occup. Health Nurses* 59, 247–252 (2011).
44. Holmström, E. & Ahlborg, B. Morning warming-up exercise--effects on musculoskeletal fitness in construction workers. *Appl. Ergon.* 36, 513–519 (2005).
45. Moher, D. et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst. Rev.* 4, 1 (2015).
46. Burdorf, A. & van der Beek, A. J. To RCT or not to RCT: evidence on effectiveness of return-to-work interventions. *Scand. J. Work. Environ. Health* 42, 257–259 (2016).
47. Burton, J., Organization, W. H. & others. WHO Healthy workplace framework and model: Background and supporting literature and practices. (2010).
48. Kwak, L., Kremers, S. P. J., van Baak, M. A. & Brug, J. Participation rates in worksite-based intervention studies: health promotion context as a crucial quality criterion. *Health Promot. Int.* 21, 66–69 (2006).
49. Malik, S. H., Blake, H. & Suggs, L. S. A systematic review of workplace health promotion interventions for increasing physical activity. *Br. J. Health Psychol.* 19, 149–180 (2014).
50. Marshall, A. L. Challenges and opportunities for promoting physical activity in the workplace. *J. Sci. Med. Sport* 7, 60–66 (2004).
51. Schelvis, R. M. C. et al. Evaluation of occupational health interventions using a randomized controlled trial: challenges and alternative research designs. *Scand. J. Work. Environ. Health* 41, 491–503 (2015).

52. Cuello-Garcia, C. A. et al. A scoping review and survey provides the rationale, perceptions, and preferences for the integration of randomized and nonrandomized studies in evidence syntheses and GRADE assessments. *J. Clin. Epidemiol.* 98, 33–40 (2018).
53. Reeves, B. C. et al. An introduction to methodological issues when including non-randomised studies in systematic reviews on the effects of interventions. *Res. Synth. Methods* 4, 1–11 (2013).
54. Schünemann, H. J. et al. Non-randomized studies as a source of complementary, sequential or replacement evidence for randomized controlled trials in systematic reviews on the effects of interventions. *Res. Synth. Methods* 4, 49–62 (2013).
55. Luger, T., Maher, C. G., Rieger, M. A. & Steinhilber, B. Work-break schedules for preventing musculoskeletal disorders in workers. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2017, (2017).
56. Slade, S. C. & Keating, J. L. Exercise prescription: a case for standardised reporting. *Br. J. Sports Med.* 46, 1110–1113 (2012).
57. OSH in figures: work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures. (Office for Official Publ. of the Europ. Communities, 2010).
58. Too, L. S., Leach, L. & Butterworth, P. Is the association between poor job control and common mental disorder explained by general perceptions of control? Findings from an Australian longitudinal cohort. *Scand. J. Work. Environ. Health* (2019) doi:10.5271/sjweh.3869.
59. Coenen, P. et al. Do highly physically active workers die early? A systematic review with meta-analysis of data from 193 696 participants. *Br. J. Sports Med.* 52, 1320–1326 (2018).
60. Sultan-Taïeb, H. et al. Economic evaluations of ergonomic interventions preventing work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of organizational-level interventions. *BMC Public Health* 17, 935 (2017).
61. Padula, R. S., Comper, M. L. C., Sparer, E. H. & Dennerlein, J. T. Job rotation designed to prevent musculoskeletal disorders and control risk in manufacturing industries: A systematic review. *Appl. Ergon.* 58, 386–397 (2017).
62. Luger, T., Maher, C. G., Rieger, M. A. & Steinhilber, B. Work-break schedules for preventing musculoskeletal symptoms and disorders in healthy workers. *Cochrane Database Syst. Rev.* 7, CD012886 (2019).
63. Higgins, J. P. T. et al. The Cochrane Collaboration’s tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 343, d5928 (2011).
64. Sterne, J. A. C. et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 366, 14898 (2019).
65. Sterne, J. A. et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ* 355, i4919 (2016).
66. Dos Santos Franco, Y. R., Miyamoto, G. C., Franco, K. F. M., de Oliveira, R. R. & Cabral, C. M. N. Exercise therapy in the treatment of tendinopathies of the lower limbs: a protocol of a systematic review. *Syst. Rev.* 8, 142 (2019).
67. Huffman, M. K., Reed, J. B., Carpenter, T. & Amireault, S. Maintenance motives for physical activity among older adults: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 10, e032605 (2020).

68. Larsen, R. T., Christensen, J., Juhl, C. B., Andersen, H. B. & Langberg, H. Physical activity monitors to enhance the daily amount of physical activity in elderly-a protocol for a systematic review and meta-analysis. *Syst. Rev.* 7, 69 (2018).
69. Seeberg, K. G. V., Andersen, L. L., Bengtsen, E. & Sundstrup, E. Effectiveness of workplace interventions in rehabilitating musculoskeletal disorders and preventing its consequences among workers with physical and sedentary employment: systematic review protocol. *Syst. Rev.* 8, 219 (2019).
70. Ubago-Guisado, E. et al. Effect of different types of exercise on health-related quality of life during and after cancer treatment: a protocol for a systematic review and network meta-analysis. *BMJ Open* 9, e031374 (2019).
71. Jones, R. A., Lawlor, E. R., Griffin, S. J., van Sluijs, E. M. F. & Ahern, A. L. Impact of adult weight management interventions on mental health: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open* 10, e031857 (2020).
72. Guyatt, G. et al. GRADE guidelines: 1. Introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables. *J. Clin. Epidemiol.* 64, 383–394 (2011).
73. Matarán-Peñarrocha, G. et al. Comparison of efficacy of a supervised versus non-supervised physical therapy exercise program on the pain, functionality and quality of life of patients with non-specific chronic low-back pain: a randomized controlled trial. *Clin. Rehabil.* 34, 948–959 (2020).
74. Moore, R. A., Straube, S. & Aldington, D. Pain measures and cut-offs - 'no worse than mild pain' as a simple, universal outcome. *Anaesthesia* 68, 400–412 (2013).
75. Parry, S. P. et al. Workplace interventions for increasing standing or walking for decreasing musculoskeletal symptoms in sedentary workers. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019, (2019).
76. Jakobsen, M. D. et al. Effect of workplace- versus home-based physical exercise on musculoskeletal pain among healthcare workers: a cluster randomized controlled trial. *Scand. J. Work. Environ. Health* 41, 153–163 (2015).
77. Jørgensen, M. B., Rasmussen, C. D. N., Ekner, D. & Sjøgaard, K. Successful reach and adoption of a workplace health promotion RCT targeting a group of high-risk workers. *BMC Med. Res. Methodol.* 10, 56 (2010).
78. Andersen, L. L. et al. Effectiveness of small daily amounts of progressive resistance training for frequent neck/shoulder pain: randomised controlled trial. *Pain* 152, 440–446 (2011).
79. Schelvis, R. M. C. et al. Evaluation of occupational health interventions using a randomized controlled trial: challenges and alternative research designs. *Scand. J. Work. Environ. Health* 41, 491–503 (2015).
80. Johnson, S. et al. Understanding how outcomes are measured in workplace physical activity interventions: a scoping review. *BMC Public Health* 18, 1064 (2018).

Annexe 2. Contribution 4

Larinier, N., Vuillerme, N., Jadaud, A., Malherbe, S., & Balaguier, R. (2022). Exploring acute effects of workplace warm-up intervention on pain, physical capacities, and productivity in agriculture:-A study protocol. *Work*, (Preprint), 1-16.

Exploring workplace warm-up intervention impact on pain, physical capacities and productivity in agriculture – a study protocol

Nicolas Larinier^{1,2}, Nicolas Vuillerme^{1,2,3}, Alexandre Jadaud², Solène Malherbe², Romain Balaguier²

¹ Univ. Grenoble-Alpes, AGEIS, Grenoble, France

² Opti'Mouv, St Paul, France

³ Institut Universitaire de France, Paris, France

Trial registration: NCT05425693. Registered 06/16/2022 in ClinicalTrials.gov

Key-words

Pain / injuries / warm-up intervention / vineyard workers / physical activity

Abstract

Background:

Physical activity programs at the workplace have shown positive results on physical capacities and pain for several years. Due to the duration of the training session or the need for an instructor, these supervised programs are rather difficult to implement. For this reason, numerous companies, especially companies in manual sectors, are turning to another solution, i.e. warm-up intervention before the work shift. These interventions present various advantages such as short duration and the possibility to perform exercises in working clothes. Surprisingly, while the positive effects of warm-up interventions on pain, performance, and physical and psychological capacities are expansively reported in the sport context, effects of workplace warm-up intervention are lacking.

Objective:

The aim of this study is to assess the acute effects of three different warm-up interventions on physical (pain, strength, flexibility) and psychological (workload) functions and also on work-related outcomes (work performance, readiness to work) among vineyard workers.

Methods:

A cluster randomized study will be implemented among French vineyard workers. Four groups of 30 participants will be constituted; corresponding to four different conditions: (1) hybrid warm-up intervention (HWU); (2) dynamic warm-up intervention (DWU); (3) stretching warm-up intervention (SWU); (4) no warm-up intervention (NWU). A total of 120 vineyard workers will be recruited to participate in the study.

Conclusion:

The results will provide more evidence about the short-term effects of warm-up interventions at the workplace and will provide more evidence on which warm-up modality is the most effective on pain, performance, and physical and psychological capacities among vineyard workers.

Background

For the last few years, sport or, more broadly physical activity, has interfered in various occupational sectors. As an example, when some companies may offer a sports room to their employees [1], others provide workplace physical activity programs[2–4]. Interestingly, these programs have proven their effectiveness improving pain, muscle endurance, and strength among manual workers as well as among office workers [5–9]. To summarize, workplace physical activity programs may under specific circumstances (i.e. supervision, adapted program, and exercises durations) counteract job exposure overloading, or physical inactivity [10, 11].

With this in mind, it is not surprising to observe that many occupational sectors (e.g. agriculture, construction, industry) inspired by sports offer workplace warm-up interventions to their employees (12–15). Warm-up intervention preceding physical activities is widely adopted in a sport context and serves several objectives such as reaching optimal athlete physical and psychological potentials [16–18]. A simple and easy way to define warm-ups is to consider them as exercises preparing the body for subsequent physical activity [19]. In sports, warm-up interventions can be divided into three main categories: (1) dynamic, (2) stretching, and (3) hybrid warm-ups. Each of these modalities presents strengths and weaknesses [18–21]. For instance, dynamic warm-up interventions have positive effects on muscle force or performance [21] but no significant effects on pain or injury reduction [19]. At the opposite, stretching warm-up provides positive effects on muscle stiffness, range of motion, and pain reduction[22], whereas no significant effects or even negative effects have been reported on muscle force and performance [22, 23]. Finally, it comes as no surprise that hybrid warm-up, a combination of dynamic and stretching exercises, induces moderate positive effects both on performance and on muscular stiffness or pain [19].

Interestingly, a parallel can be drawn between results observed in sports and workplaces. For instance, Di Stefano et al [24] assessing the effects of a 6-weeks dynamic warm-up intervention on military recruits reported an increase in lower-leg muscle force. Gartley and Prosser [14] and Aje et al[15] reported that 3 months of stretching warm-up intervention had positive effects on pain-related outcomes among tin mill and food factory workers. Holmström et Ahlberg[13], offering construction workers a 3 months hybrid warm-up intervention reported positive effects on both strength and muscle flexibility. However, there are considerable differences between the number and quality of studies implemented warm-up

interventions in sports and at the workplace. To our knowledge, the 4 studies [13–15, 24] described above are the only ones assessing the effects of warm-up intervention on physical capacities and injury in a workplace context. Furthermore, these 4 studies present major methodological limitations regarding heterogeneity or blinding and none of them compared the 3 warm-up modalities on physical and work-related outcomes.

The few studies on the subject of workplace warm-up exercises are inconsistent with the growing interest of numerous companies for such intervention. To address this gap, there is a need to design, implement and assess workplace warm-up interventions. This is of particular importance, especially among employees exposed to heavy physical workload. In this sense, agriculture is one sector of great interest. Agriculture and especially viticulture is known to expose workers to repetitive work, awkward postures, and high work pace [25, 26]. In France, viticulture is one of the top sectors affected by work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) [27]. In this occupational sector, areas the most affected by WMSDs are the neck, the low-back, and the upper extremities (28). Most of the time, such conditions may result in pain, fatigue or can lead to a decrease in muscle strength and flexibility. WMSDs may also be responsible for a lower productivity [28–30]. Thus, considering the aforementioned studies and the positive effects of warm-up on these outcomes, it seems relevant to experiment warm-up intervention among vineyard workers.

Therefore, the aim of the present study is to compare among vineyard workers the acute effects of 3 different modalities of workplace warm-up intervention on physical (pain, strength, flexibility) and psychological (workload) functions, and also on work-related outcomes (work performance, readiness to work).

Methods

Study design

A cluster randomized study will be implemented in 2022. Participants will be vineyard workers recruited from January 2022 among multiple vineyard companies located around Bordeaux (France).

Sample size calculation

The sample size calculation, using an alpha risk of 0.05 and a beta risk of 0.20 with an estimated follow-up loss of 15%, highlighted a need for 30 subjects per group. There will be four study groups corresponding to four different conditions: (1) hybrid warm-up intervention

(HWU); (2) dynamic warm-up intervention (DWU); (3) stretching warm-up intervention (SWU); (4) no warm-up intervention (NWU); a total of 120 vineyard-workers will be recruited to participate in the study.

Recruitment and flow of participants

Inclusion criteria for participation will be being aged from 18 to 60 years, not to present previous surgery in the low back region in the last 12 months [31], working full time, and having at least 1 year of employment in the company[12]. Both men and women will be considered for inclusion. Subject recruitment started in January 2022 and, together with data collection, is estimated to last until January 2023. Participants who will meet all inclusion criteria will be offered the opportunity to participate in the study.

Randomization and blinding

At the beginning of this study, a pre-visit will be organized individually to collect potential participants' characteristics. Randomization and allocation will be performed after this baseline data collection. A homemade computer program will be created to cluster and randomly allocate the 120 eligible participants in the four different groups (HWU, DWU, SWU, and NWU) presented above. Participants will not be aware of their allocated group. In this study, the research team members in charge of (1) data collection (NL) and (2) and the supervision of warm-up (NL, AJ, and SM) will know the treatment allocation. Another research team member blinded to the assignment will be responsible for data analysis (RB).

Ethics

All participants will be informed about the purpose and content of the project and will give their written informed consent to participate in the study. All data collected (written informed consent, baseline participants' characteristics, tests...) will be stored for 15 years in a researcher's office. The research plan has been approved by the CERSTAPS (registration number n°IRB00012476-2021-06-12-137), a national French ethics committee for research in physical activity. The study also follows the recommendations of the SPIRIT guidelines [32]. A SPIRIT checklist with references to the relevant page numbers of this protocol is provided (see Additional file 1).

Working activity

Pruning

During winter, pruning activity takes up most of the vineyard workers' working time. During this period, usually from November to April, vineyard workers have to slightly reduce the size

of the grapevine by removing branches. From the vineyard perspective, pruning is necessary to train the grapevine, maintain its health, improve the quality of the grapes, and restrict its growth. From the vineyard workers' perspective, pruning leads to highly repetitive movements of the arms and forearms and the adoption of extreme postures of the back [26, 33] (Image 1).



Image 1. Vineyard worker during pruning activity.

Warm-up intervention

A warm-up intervention will be implemented and the acute effects of a single warm-up session will be evaluated. The three warm-up modalities will last 15 minutes and will be performed before the working day (8:00 am), in regular working clothes. Warm-ups will be supervised by one research team member in charge of (1) presenting the exercises and (2) enforcing exercise security instructions. The three team members (NL, AJ, and SM) who will present warm-up sessions to workers are graduated with a master's degree in sport science and specialized in WMSDs prevention among vineyard workers. Exercises between each modality will be different but will target body regions highly solicited over participants' working day, e.g. neck, low back, and upper extremities. Each warm-up intervention modality is described below. At the end of the 15 minutes of the warm-up session, vineyard workers will be invited to start as fast as possible pruning. Vineyard workers could stop warm-up at any time in case of unusual pain or discomfort.

Hybrid Warm-Up



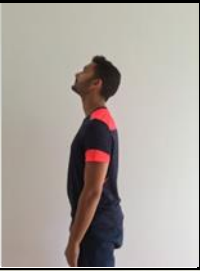















The HWU intervention will involve 20 exercises, presented in Table 1. These exercises will be a combination of dynamic exercises and stretching exercises. This warm-up intervention will be based on the one implemented by Holmström and Ahlborg [13] among construction workers.








Dynamic Warm-Up








The DWU intervention will be divided into 20 exercises, presented in Table 2. These exercises are specifically designed to increase the heart rate and attain the intensity recommended by Bishop [34]. This warm-up intervention is based on the one implemented by DiStefano and colleagues [24] among military recruits.

Stretching Warm-Up

The stretching intervention consists of 20 exercises, presented in Table 3. These exercises will be a combination of stretching exercises, based on warm-up intervention implemented by Gartley and Prosser [14] and Aje et al [15]. As stretching exercises performed lying down in Gartley and Prosser and Aje et al studies were impossible to set up in vineyard workers working conditions, they were modified or replaced to perform all the exercises standing up[14, 15].

Exercise name	Repetitions	Anatomical area	Type of exercise	Pictures		
“Yes movement”	10	Neck	Dynamic			
“No movement”	10	Neck	Dynamic			
“Maybe movement”	10	Neck	Dynamic			
“Shoulders roll”	10	Shoulders	Dynamic			
“Arms elevation”	10	Shoulders	Dynamic			
“Butterfly”	10	Shoulders	Dynamic			

<p>“Elbow flexion extension”</p> <p>10 *2</p> <p>Elbows</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Wrist rotation”</p> <p>10</p> <p>Wrists</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Hand clenching”</p> <p>10</p> <p>Fingers</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Trunk rotations”</p> <p>10</p> <p>Trunk</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Trunk inclinations”</p> <p>10</p> <p>Trunk</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Trunk flexion/extension”</p> <p>10</p> <p>Trunk</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Pelvic circumduction”</p> <p>10</p> <p>Trunk</p> <p>Dynamic</p>	

<p>“Knee elevation”</p> <p>10*2</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Lower limb abduction”</p> <p>10*2</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Squats”</p> <p>10</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Lunges”</p> <p>10</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Lunges trunk rotation”</p> <p>10</p> <p>Lower limb / Trunk</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Forearm extensor stretch”</p> <p>2*10s</p> <p>Forearm</p> <p>Stretching</p>	
<p>“Forearm flexor stretch”</p> <p>2*10s</p> <p>Forearm</p> <p>Stretching</p>	



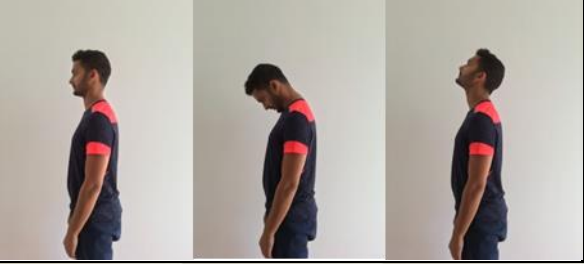



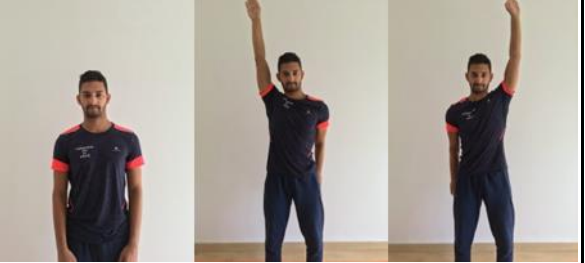












<p>“Trunk lateral stretch”</p>	<p>2*10s</p>	<p>Trunk</p>	<p>Stretching</p>	
<p>“Trunk axial stretch”</p>	<p>2*10s</p>	<p>Trunk / Lower limb</p>	<p>Stretching</p>	

Table 1. List of the exercises included in the Hybrid Warm-Up.

Exercise name	Repetitions	Anatomical area	Type of exercise	Pictures
“Yes movement”	10	Neck	Dynamic	
“No movement”	10	Neck	Dynamic	
“Maybe movement”	10	Neck	Dynamic	
“Shoulders roll”	10	Shoulders	Dynamic	
“Arms elevation”	10	Shoulders	Dynamic	
“Butterfly”	10	Shoulders	Dynamic	

<p>“Elbow flexion extension”</p> <p>10 *2</p> <p>Elbows</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Wrist rotation”</p> <p>10</p> <p>Wrists</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Hand clenching”</p> <p>10</p> <p>Fingers</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Trunk rotations”</p> <p>10</p> <p>Trunk</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Trunk inclinations”</p> <p>10</p> <p>Trunk</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Trunk flexion/extension”</p> <p>10</p> <p>Trunk</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Pelvic circumduction”</p> <p>10</p> <p>Trunk</p> <p>Dynamic</p>	

<p>“Knee elevation”</p> <p>10*2</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Lower limb abduction”</p> <p>10*2</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Squats”</p> <p>10</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Lunges”</p> <p>10</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Lunges trunk rotation”</p> <p>10</p> <p>Lower limb / Trunk</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Skater”</p> <p>20</p> <p>Lower limb</p> <p>Dynamic</p>	
<p>“Jumping jacks”</p> <p>20</p> <p>Full body</p> <p>Dynamic</p>	





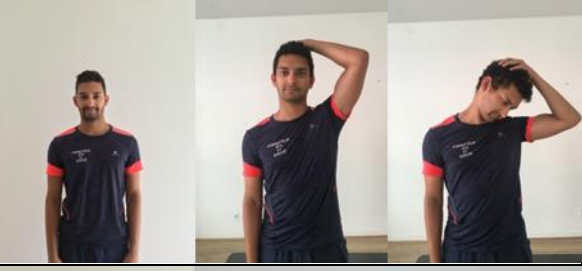
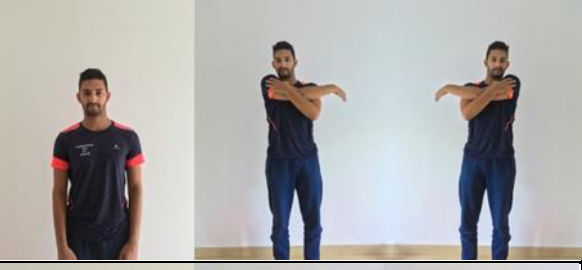




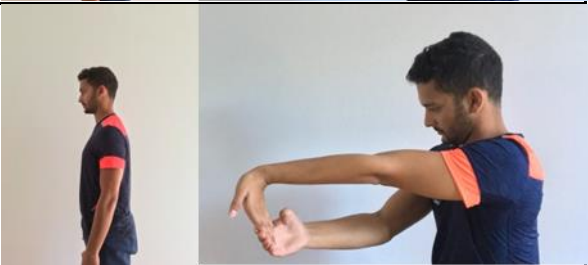







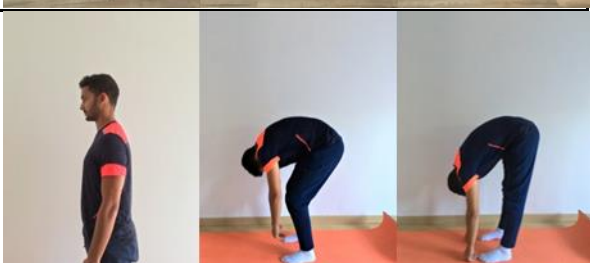

“Sidestepping”	20	Full body	Dynamic	
-----------------------	----	-----------	---------	--

Table 2. List of the exercises included in the Dynamic Warm-Up.

Exercise name	Repetitions	Anatomical area	Type of exercise	Pictures		
“Yes movement”	2*15s	Neck	Stretching			
“No movement”	2*15s	Neck	Stretching			
“Trapezius stretch”	2*15s	Shoulders	Stretching			
“Scapulae elevator stretch”	2*15s	Shoulders	Stretching			
“Deltoid stretch”	2*15s	Shoulders	Stretching			
“Biceps stretch”	2*15s	Arms	Stretching			

<p>“Triceps stretch”</p> <p>2*15s</p> <p>Arms</p> <p>Stretching</p>	
<p>“Back scratch”</p> <p>2*15s</p> <p>Arms</p> <p>Stretching</p>	
<p>“Forearm extensor stretch”</p> <p>2*15s</p> <p>Forearm</p> <p>Stretching</p>	
<p>“Forearm flexor stretch”</p> <p>2*15s</p> <p>Forearm</p> <p>Stretching</p>	
<p>“Cat stretch”</p> <p>2*15s</p> <p>Trunk</p> <p>Stretching</p>	
<p>“Trunk lateral stretch”</p> <p>2*15s</p> <p>Trunk</p> <p>Stretching</p>	
<p>“Latissimus dorsi stretch”</p> <p>2*15s</p> <p>Trunk</p> <p>Stretching</p>	

<p>“Trunk axial stretch”</p>	<p>2*15s</p>	<p>Trunk / Lower limb</p>	<p>Stretching</p>	
<p>“Trunk extension stretch”</p>	<p>2*15s</p>	<p>Trunk / Lower limb</p>	<p>Stretching</p>	
<p>“Psoas stretch”</p>	<p>2*15s</p>	<p>Trunk / Lower limb</p>	<p>Stretching</p>	
<p>“Iliotibial band stretch”</p>	<p>2*15s</p>	<p>Lower limb</p>	<p>Stretching</p>	
<p>“Hamstrings stretch”</p>	<p>2*15s</p>	<p>Lower limb</p>	<p>Stretching</p>	
<p>“Quadriceps stretch”</p>	<p>2*15s</p>	<p>Lower limb</p>	<p>Stretching</p>	

“Calf stretch”	2*15s	Lower limb	Stretching	
----------------	-------	------------	------------	--

Table 3. List of the exercises included in the Stretching Warm-Up.

Study outcomes

Each participant will perform a single warm-up session and all the measurements for a participant will be assessed the same day as the warm-up session. Participants will be observed 5 times, namely: before the warm-up intervention (T0), immediately after (T1), after the first hour of work (T2), after the second hour of work (T3) and after three hours of work (i.e. before lunch break) (T4).

Primary outcome measures

Perceived pain intensity

Pain intensity will be rated respectively for the last 3 months; and before the warm-up (T0), after the warm-up (T1), after 60min of work (T2), after 120min of work (T3) and after 180min of work (T4). Participants will be asked to rate their pain intensity over 15 anatomical locations [35] using a 0–10 numerical rating scale (NRS), where 0 is used to indicate “no pain” while 10 indicates the "worst possible pain"[36, 37]. The 15 anatomical pain locations are illustrated in Image 2.

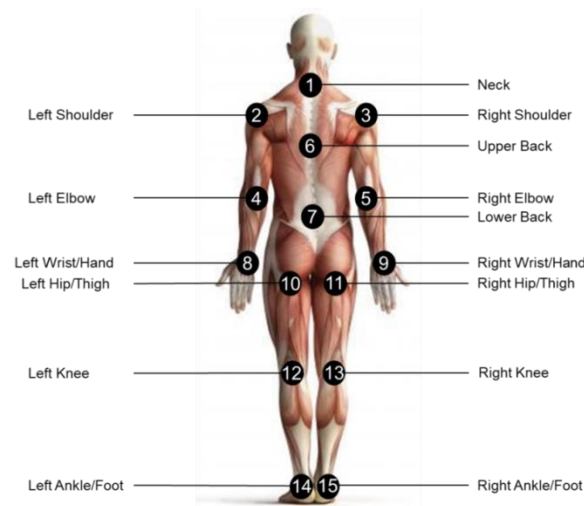


Image 2. Pain location chart

Work performance

To assess work performance, the number of grapevines pruned after one hour, two hours, and three hours will be recorded by a research team member [38].

Secondary outcome measures

Handgrip strength

The handgrip strength will be measured using a Camry Electronic Hand Dynamometer (Model: EH101). The participant will sit with the elbow flexed at a 90° angle with the forearm and the wrist in a neutral position. Three maximum efforts will be performed with the dominant hand. A rest period of 30 seconds will be presented between each trial. Participants will be asked to press as fast and hard as possible with strong verbal encouragement. The best performance will be used for data analysis [39–41].

Flexibility

To assess the flexibility of the trunk and the hamstrings, the Fingertip-to-floor test (FTF) is a valid, reliable test and is used by many authors, especially in low back pain prevention [42]. For this test, the vineyard workers will stand on a 20 cm high box with their feet together [43]. Then, participants will bend forward as far as possible while keeping their knees straight. The distance (cm) between the floor and the middle finger will be recorded as an index of trunk forward bending flexibility [43]. Participants will perform two trials and the best one will be used for data analysis [42, 43].

The flexibility of the upper extremities will be evaluated with the back scratch test. This test gives an overall measure of the range of motion of the shoulders [44]. Participants will stand with one hand behind their back, stretching as far as possible up the spinal column. Participants will then extend the other arm behind the head with the elbow bent and they will try to reach the other hand. The distance between (positive values), or overlap of (negative values), the middle finger from both hands behind the back will be recorded [44].

Heart Rate

Each vineyard worker will be equipped with a heart rate (HR) monitor Geonaute Onmove 500, placed on the wrist. Due to the nature of the working task, participants will place the monitor on the arm they want. The HR will be continuously recorded during the entire duration of the supervised warm-up (between T0 and T1). Then, for each condition, HR will be recorded between the end of the WU and the beginning of the working activity (between T1 and T2) and during the working activity (between T2 and T5). For statistical analysis, HR data will be analyzed in original units (beats per minute [bpm]) [45]. The mean value of the

first min of recording will be saved for T0 [46] and will be considered as the resting heart rate. For T1, the mean value of the 15min of the warm-up will be retained. For T2, the mean value of the last min before the beginning of the working activity will be retained [46]. For T3, T4, and T5, the mean value of the last 15min will be calculated.

Readiness to work

Readiness to work was rated subjectively using a 0-10 numerical rating scale, where 0 was used to indicate "not at all ready" and 10 "perfectly ready to work". This scale was adapted from the scale of readiness to play a match, used in different team sports such as football (soccer) or handball [47, 48]. Readiness to work will be asked at T1, after the warm-up, and at T2 just before the beginning of the working activity.

Work Quality

Work quality will be assessed by the workers' supervisors, with the same 0-10 scale in every company[49], developed by the research team and a vineyard growing specialist. Perceived work quality will be measured at T5, after the end of the first three hours of the working day.

Workload

NASA Task Load Index (NASA TLX) is a multi-dimensional scale used to estimate the workload of a worker. The NASA TLX consists of six subscales: Mental, Physical, and Temporal Demands, Frustration, Effort, and Performance. The worker rates each subscale from 0 to 100 on the experience of a specific working task. The combination of these dimensions is the global workload score and can be between 0 (low workload) and 100 (high workload). This global workload score is likely to represent the workload experienced by workers [50, 51].

Visuomotor Reaction Time

The FITLIGHT Trainer (FITLIGHT Sports Corp., Ontario, Canada) will be used to measure visuomotor reaction time (VMRT). Fit lights are an innovative wireless system used in various sports to develop hand/eye coordination or assess reactive balance [52, 53]. Eight sensors, drawing a semicircle, will be placed on a table 1m high. Sensors will be separated by 20 cm, with 40 cm from the central point. Participants will stand in front of it with hands in contact with the table and will be instructed to turn off 60 light stimuli as quickly as possible (green stimulus with dominant hand and red stimulus with non-dominant hand). Lighting sequences will be random [54, 55]. The total time required to turn of the sensors will be recorded as total VMRT. The mean time to turn off each light will be recorded as mean

VMRT. The mean number of errors to turn off the lights will be recorded as mean error VMRT.

Time of measurement

The time of measurement for each outcome is presented in the following table (Table 4).

		STUDY PERIOD						
		Enrolment	Allocation	Before Warm-up	After Warm-up	After 60min of work	After 120min of work	After 180min of work
	TIMEPOINT	T_{-2}	T_{-1}	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
ENROLMENT	<i>Informed consent</i>	X						
	<i>Baseline data collection</i>	X						
	<i>Allocation</i>		X					
INTERVENTIONS	<i>Hybrid warm-up</i>			↔				
	<i>Dynamic warm-up</i>			↔				
	<i>Stretching warm-up</i>			↔				
	<i>No warm-up</i>			↔				
ASSESSMENTS	<i>Perceived pain intensity</i>			X	X	X	X	X
	<i>Work performance</i>					X	X	X
	<i>Handgrip strength</i>			X	X			X
	<i>Flexibility</i>			X	X			X
	<i>Heart rate</i>			X	X	X	X	X
	<i>Readiness to work</i>				X			
	<i>Work quality</i>							X
	<i>Workload</i>							X
	<i>Visuomotor Reaction Time</i>			X	X			X

Table 4. Time schedule of enrolment, interventions and outcomes assessment.

Statistical analysis

Descriptive statistics will be calculated to provide a summary of the demographic characteristics of vineyard workers. All results will be presented as mean and standard deviation with a 95% confidence interval. The assumption of normal distribution will be

assessed using the Shapiro-Wilk test. In case of normality, a two-way repeated analysis of variance (ANOVA) will be conducted to compare study outcomes between groups (HWU *vs* DWU *vs* SWU *vs* NWU) and across time of measurements (T0, T1, T2, T3, and T4). All analyses will be performed according to the intention-to-treat principle and effect size could be computed for mean differences from baseline to follow-up measurements [56]. The statistical analysis will be performed using R for Windows and the significance level will be set at 0.05.

Discussion

Nowadays, warm-ups are a key component of a training session or a competitive event in sport [20] as numerous studies [18, 19, 22] reported warm-up's positive effects on performance or injury prevention in sports. In general, three main modalities of warm-up interventions are implemented in sports setting: (1) dynamic, (2) stretching, and (3) hybrid. Dynamic warm-up intervention previously has been shown to improve muscle force and performance [21], while stretching warm-up intervention has been reported to provide positive effects on muscle stiffness, range of motion, and injury prevention [19]. Hybrid warm-up interventions appear to be an interesting alternative by combining dynamic and stretching exercises benefits. For example, in the study of Fradkin et al., published in 2004, 10 golfers improved their performance after a warm-up intervention constituted by both dynamic and stretching exercises.

Over the last decade, companies have shown a growing interest in the implementation of workplace warm-up interventions [13–15]. This observation can be explained by the advantages of implementing warm-up interventions, i.e. easy-to-use exercises, a reasonable duration (about 15 minutes maximum), and a minimum amount of equipment needed [57]. At this point, however, there is still no good evidence for the effectiveness of workplace warm-up interventions. In a systematic review we conducted (submitted) on the effectiveness of workplace warm-up interventions on work-related musculoskeletal disorders, physical, and psychosocial functions [58], only 4 studies met the eligibility criteria and were included [13–15, 24]. These 4 included studies offered employees one of the three warm-up modalities and reported different results. Di Stefano et al [24] reported that a 6-week dynamic warm-up intervention among the military, lead to an increase in lower-leg muscle performance. Gartley and Prosser [14] and Aje et al [15] reported that a 3 months stretching intervention, supervised by a trained worker, had promising effects on pain-related outcomes among tin

mill and food factory workers. Both have reported a reduction in injury rates (ranging from -2.4% to -5.2%) after the stretching warm-up intervention. Holmström et Ahlborg [13] reported that after 3 months a daily 10min hybrid warm-up intervention had positive effects on muscle strength and flexibility among construction workers. However, these results on the effectiveness of workplace warm-up interventions have to be taken with caution since the 4 included studies in the review [13–15, 24] present major methodological bias regarding heterogeneity and blinding. Furthermore, none of these 4 studies compared the 3 main warm-up modalities on physical and work-related outcomes.

Our study was hence specifically designed to address this issue. For this reason, this study ambioned to be the first to extensively examine the acute effects of these 3 workplace warm-up modalities on multiple outcomes in a workplace context and more precisely among vineyard workers. This study will give new insights into the effects of these 3 modalities on each outcome and will allow defining the most effective modality among this population. Finally, this study will help companies and public institutions with how to use warm-ups at the workplace.

Strengths

The design of this study could be considered a strength as participants will be randomly allocated to the 4 groups and will be blinded to their allocation. The research team member responsible for the data analysis will also be blinded to the participants' allocation. This study further follows the SPIRIT guidelines. The team members who will present warm-up sessions to workers are graduated with a master's degree in sport science and specialized in WMSDs prevention among vineyard workers. To the best of our knowledge, this study will be the first evaluating acute effects of a workplace warm-up intervention among vineyard workers.

Limitations

A number of potential study limitations may also be listed. First, blinding team members in charge of data collection will not be possible. Secondly, as vineyard-workers will come from the same geographical area (i.e. Bordeaux), the results may not be generalizable to other geographical areas (with other vineyard characteristics) or other occupational sectors. Thirdly, it has been shown that starting the activity as close as possible to the warm-up is important to maintain its effects. In this case, the measurement time required at T1 could lead to a decrease in the warm-up effects. To deal with this eventuality, a strict protocol will be followed to reduce the time needed to collect these measures. To assess flexibility, some methods as the

modified sit and reach test correct for the length of the subjects' limbs but are complicated to set up at the workstation (i.e. the vineyard). Hence, strength and flexibility will be evaluated with limited but practical methods. Outcomes will be focusing on several body regions, but these regions are the most concerned by pain and work interruption in this occupation [25, 28].

Perspectives

We believe that the results of the present study will contribute to bridge the gap between the increasing interest from companies and the scientific evidence on the effectiveness of workplace warm-up interventions. In addition, results will indicate whether these interventions may supplement ergonomic or workplace strengthening programs as solutions to limit WMSDs. As this study will compare the 3 main warm-up modalities, it may highlight the most efficient warm-up intervention among vineyard workers. An upcoming study may also adopt a different design to maximize the warm-up effect on work-performance: it would be interesting to (1) assess the effects of the warm-up intervention on physical and psychological outcomes such as strength, flexibility, and reaction time on one day and (2) assess the work-related outcomes (i.e. work-performance) another day by starting the work immediately after the warm-up session. As this study aims to investigate the acute effects of a warm-up, it would be interesting to evaluate the effects of a warm-up intervention program lasting 6-8 weeks.

Ethical approval

The research plan has been approved by the CERSTAPS (registration number n°IRB00012476-2021-06-12-137), a national French ethics committee for research in physical activity.

Informed consent

All participants will be informed about the purpose and content of the project and will give their written informed consent to participate in the study.

Conflict of interest

All authors are members of Opti'Mouv, a company that provides workplace health promotion services as workplace physical activity programs.

References

- [1] Shimotsu ST, French SA, Gerlach AF, et al. Worksite environment physical activity and healthy food choices: measurement of the worksite food and physical activity environment at four metropolitan bus garages. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2007; 4: 17.
- [2] Blangsted AK, Sjøgaard K, Hansen EA, et al. One-year randomized controlled trial with different physical-activity programs to reduce musculoskeletal symptoms in the neck and shoulders among office workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 2008; 34: 55–65.
- [3] Korshøj M, Birk Jørgensen M, Lidegaard M, et al. Decrease in musculoskeletal pain after 4 and 12 months of an aerobic exercise intervention: a worksite RCT among cleaners. *Scand J Public Health* 2018; 46: 846–853.
- [4] Bramante CT, King MM, Story M, et al. Worksite physical activity breaks: Perspectives on feasibility of implementation. *Work* 2018; 59: 491–499.
- [5] Chen X, Coombes BK, Sjøgaard G, et al. Workplace-Based Interventions for Neck Pain in Office Workers: Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy* 2018; 98: 40–62.
- [6] Bordado Sköld M, Bayattork M, Andersen LL, et al. Psychosocial effects of workplace exercise - A systematic review. *Scand J Work Environ Health* 2019; 45: 533–545.
- [7] Abdin S, Welch RK, Byron-Daniel J, et al. The effectiveness of physical activity interventions in improving well-being across office-based workplace settings: a systematic review. *Public Health* 2018; 160: 70–76.
- [8] Bell JA, Burnett A. Exercise for the Primary, Secondary and Tertiary Prevention of Low Back Pain in the Workplace: A Systematic Review. *J Occup Rehabil* 2009; 19: 8–24.
- [9] Lowry V, Desjardins-Charbonneau A, Roy J-S, et al. Efficacy of workplace interventions for shoulder pain: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med* 2017; 49: 529–542.
- [10] Sjøgaard G, Mann S, Jensen JSD, et al. The elixir of muscle activity and kinesiology in a health perspective: Evidence of worksite tailored exercise training alleviating muscle disorders. *J Electromyogr Kinesiol* 2021; 61: 102600.
- [11] Genin PM, Pereira B, Thivel D, et al. Employees' adherence to worksite physical activity programs: Profiles of compliers versus non-compliers. *Work* 2018; 60: 507–510.
- [12] Balaguier R, Madeleine P, Rose-Dulcina K, et al. Effects of a Worksite Supervised Adapted Physical Activity Program on Trunk Muscle Endurance, Flexibility, and Pain Sensitivity Among Vineyard Workers. *Journal of Agromedicine* 2017; 22: 200–214.
- [13] Holmström E, Ahlborg B. Morning warming-up exercise--effects on musculoskeletal fitness in construction workers. *Appl Ergon* 2005; 36: 513–519.
- [14] Gartley RM, Prosser JL. Stretching to prevent musculoskeletal injuries. An approach to workplace wellness. *AAOHN J* 2011; 59: 247–252.
- [15] Aje OO, Smith-Campbell B, Bett C. Preventing Musculoskeletal Disorders in Factory Workers: Evaluating a New Eight Minute Stretching Program. *Workplace Health Saf* 2018; 66: 343–347.
- [16] Opplert J, Babault N. Acute Effects of Dynamic Stretching on Muscle Flexibility and Performance: An Analysis of the Current Literature. *Sports Med* 2018; 48: 299–325.

- [17] Silva LM, Neiva HP, Marques MC, et al. Effects of Warm-Up, Post-Warm-Up, and Re-Warm-Up Strategies on Explosive Efforts in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Med* 2018; 48: 2285–2299.
- [18] McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, et al. Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports Med* 2015; 45: 1523–1546.
- [19] McCrary JM, Ackermann BJ, Halaki M. A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br J Sports Med* 2015; 49: 935–942.
- [20] Bishop D. Warm Up I. *Sports Med* 2003; 33: 439–454.
- [21] Fradkin AJ, Zazryn TR, Smoliga JM. Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *J Strength Cond Res* 2010; 24: 140–148.
- [22] Woods K, Bishop P, Jones E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med* 2007; 37: 1089–1099.
- [23] Weerapong P, Hume PA, Kolt GS. Stretching: Mechanisms and Benefits for Sport Performance and Injury Prevention. *Physical Therapy Reviews* 2004; 9: 189–206.
- [24] DiStefano LJ, Marshall SW, Padua DA, et al. The Effects of an Injury Prevention Program on Landing Biomechanics Over Time. *Am J Sports Med* 2016; 44: 767–776.
- [25] Meyers JM, Miles JA, Faucett J, et al. Priority risk factors for back injury in agricultural field work: vineyard ergonomics. *J Agromedicine* 2004; 9: 433–448.
- [26] Roquelaure Y, Dano C, Dusolier G, et al. Biomechanical strains on the hand-wrist system during grapevine pruning. *Int Arch Occup Environ Health* 2002; 75: 591–595.
- [27] Brumitt J, Reisch R, Krasnoselsky K, et al. Self-Reported Musculoskeletal Pain in Latino Vineyard Workers. *Journal of Agromedicine* 2010; 16: 72–80.
- [28] Bernard C, Courouve L, Bouée S, et al. Biomechanical and psychosocial work exposures and musculoskeletal symptoms among vineyard workers. *J Occup Health* 2011; 53: 297–311.
- [29] Umer W, Antwi-Afari MF, Li H, et al. The prevalence of musculoskeletal symptoms in the construction industry: a systematic review and meta-analysis. *Int Arch Occup Environ Health* 2018; 91: 125–144.
- [30] Kearney GD, Allen DL, Balanay JAG, et al. A Descriptive Study of Body Pain and Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Latino Farmworkers Working on Sweet Potato Farms in Eastern North Carolina. *Journal of Agromedicine* 2016; 21: 234–243.
- [31] Sihawong R, Janwantanakul P, Jiamjarasrangi W. A prospective, cluster-randomized controlled trial of exercise program to prevent low back pain in office workers. *Eur Spine J* 2014; 23: 786–793.
- [32] Cruz Rivera S, Liu X, Chan A-W, et al. Guidelines for clinical trial protocols for interventions involving artificial intelligence: the SPIRIT-AI extension. *Nat Med* 2020; 26: 1351–1363.
- [33] Balaguier R, Madeleine P, Rose-Dulcina K, et al. Trunk kinematics and low back pain during pruning among vineyard workers-A field study at the Chateau Larose-Trintaudon. *PLoS ONE* 2017; 12: e0175126.
- [34] Bishop D. Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med* 2003; 33: 483–498.
- [35] Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon* 1987; 18: 233–237.

- [36] Cho Y-T, Hsu W-Y, Lin L-F, et al. Kinesio taping reduces elbow pain during resisted wrist extension in patients with chronic lateral epicondylitis: a randomized, double-blinded, cross-over study. *BMC Musculoskeletal Disord* 2018; 19: 193.
- [37] Calatayud J, Escriche-Escuder A, Cruz-Montecinos C, et al. Tolerability and Muscle Activity of Core Muscle Exercises in Chronic Low-back Pain. *Int J Environ Res Public Health*; 16. Epub ahead of print 20 September 2019. DOI: 10.3390/ijerph16193509.
- [38] Grimani. The effectiveness of workplace nutrition and physical activity interventions in improving productivity, work performance and workability: A Systematic Review. Epub ahead of print 6 December 2019. DOI: 10.21203/rs.2.12581/v3.
- [39] Vercruyssen J, Scafoglieri A, Cattrysse E. The Impact of Palmaris Longus Muscle on Function in Sports: An Explorative Study in Elite Tennis Players and Recreational Athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* 2016; 1: 167–182.
- [40] Hammed AI, Obaseki CO. Interdependence of body mass index with handgrip strength and endurance among apparently healthy teenagers. *Turkish Journal of Kinesiology* 2018; 4: 1–7.
- [41] Sundstrup E, Jakobsen MD, Brandt M, et al. Strength Training Improves Fatigue Resistance and Self-Rated Health in Workers with Chronic Pain: A Randomized Controlled Trial. *Biomed Res Int* 2016; 2016: 4137918.
- [42] Ekedahl H, Jönsson B, Frobell RB. Fingertip-to-floor test and straight leg raising test: validity, responsiveness, and predictive value in patients with acute/subacute low back pain. *Arch Phys Med Rehabil* 2012; 93: 2210–2215.
- [43] Perret C, Poiraudau S, Fermanian J, et al. Validity, reliability, and responsiveness of the fingertip-to-floor test. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82: 1566–1570.
- [44] del Pozo-Cruz B, Gusi N, Adsuar JC, et al. Musculoskeletal fitness and health-related quality of life characteristics among sedentary office workers affected by sub-acute, non-specific low back pain: a cross-sectional study. *Physiotherapy* 2013; 99: 194–200.
- [45] Schneider C, Wiewelhove T, McLaren SJ, et al. Monitoring training and recovery responses with heart rate measures during standardized warm-up in elite badminton players. *PLoS One*; 15. Epub ahead of print 21 December 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0244412.
- [46] Neiva HP, Marques MC, Barbosa TM, et al. Warm-up and performance in competitive swimming. *Sports Med* 2014; 44: 319–330.
- [47] Romaratezabala E, Nakamura FY, Castillo D, et al. Influence of warm-up duration on physical performance and psychological perceptions in handball players. *Research in Sports Medicine (Print)* 2018; 26: 230–243.
- [48] Yanci J, Iturri J, Castillo D, et al. Influence of warm-up duration on perceived exertion and subsequent physical performance of soccer players. *Biol Sport* 2019; 36: 125–131.
- [49] Ben-Ner A, Hamann DJ, Koepf G, et al. Treadmill Workstations: The Effects of Walking while Working on Physical Activity and Work Performance. *PLoS One* 2014; 9: e88620.
- [50] Hart SG, Staveland LE. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hancock PA, Meshkati N (eds) *Advances in Psychology*. North-Holland, pp. 139–183.
- [51] Hart SG. Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 2006; 50: 904–908.

- [52] Vater C, Strasburger H. Topical Review: The Top Five Peripheral Vision Tools in Sport. *Optom Vis Sci* 2021; 98: 704–722.
- [53] Verschueren J, Tassignon B, Pluym B, et al. Bringing context to balance: development of a reactive balance test within the injury prevention and return to sport domain. *Arch Physiother* 2019; 9: 6.
- [54] Dik J, Saglam M, Tekerlek H, et al. Visuomotor reaction time and dynamic balance in children with cystic fibrosis and non-cystic fibrosis bronchiectasis: A case-control study. *Pediatr Pulmonol* 2020; 55: 2341–2347.
- [55] Reigal RE, Barrero S, Martín I, et al. Relationships Between Reaction Time, Selective Attention, Physical Activity, and Physical Fitness in Children. *Front Psychol* 2019; 10: 2278.
- [56] Lachin JM. Statistical considerations in the intent-to-treat principle. *Control Clin Trials* 2000; 21: 167–189.
- [57] Andersen LL, Zebis MK. Process evaluation of workplace interventions with physical exercise to reduce musculoskeletal disorders. *Int J Rheumatol* 2014; 2014: 761363.
- [58] Larinier N, Balaguier R, Vuillerme N. How much do we know about the effectiveness of warm-up intervention on work related musculoskeletal disorders, physical and psychosocial functions: protocol for a systematic review. *BMJ Open*; 10. Epub ahead of print 26 November 2020. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-039063.

