

Recherche quantitative originale

Fonction cardiaque et trouble de stress post-traumatique : revue de la littérature et étude de cas

Jyotpal Singh, Ph. D. (1); R. Nicholas Carleton, Ph. D. (2); J. Patrick Neary, Ph. D. (1)

Cet article a fait l'objet d'une évaluation par les pairs.

 Diffuser cet article sur Twitter

Résumé

Introduction. Alors qu'on sait que le trouble de stress post-traumatique (TSPT) peut entraîner une augmentation du tonus sympathique, ses effets sur le cycle cardiaque ont été peu étudiés.

Méthodologie. Nous avons réalisé une revue de la littérature en interrogeant les bases de données PubMed, MEDLINE et Web of Science. Les articles traitant des modifications de nature échocardiographique en lien avec le TSPT ou des symptômes connexes et traitant des associations entre les deux ont été synthétisés pour cette revue de la littérature. Nous avons également inclus les données d'une étude de cas dans laquelle les intervalles de temps et les paramètres de contractilité du cycle cardiaque ont été évalués par séismocardiographie chez un participant âgé de 33 ans qui portait un capteur cardiaque non invasif et qui a été exposé à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique. Les intervalles évalués étaient le temps de systole, le temps de contraction isovolumique (TCIV) et le temps de relaxation isovolumique (TRIV). Nous avons calculé les indices de performance systolique (TCIV/systole), diastolique (TRIV/systole) et myocardique [(TCIV + TRIV)/systole].

Résultats. La revue de la littérature a permis de recenser 55 articles, dont 14 portant sur l'évaluation de la fonction cardiaque par échocardiographie chez des patients présentant des symptômes de TSPT. La dysfonction cardiaque variait selon les études, avec la présence d'atteintes diastoliques et systoliques chez des patients ayant un TSPT. L'étude de cas montre que le stress lié au travail augmente les indices de performance cardiaque, ce qui évoque un stress ventriculaire accru et vient confirmer les résultats dont on dispose dans la littérature.

Conclusion. D'après les résultats de notre revue de la littérature, l'évaluation de la fonction cardiaque chez les patients atteints de TSPT devrait faire l'objet d'une approche contrôlée. Quant à l'étude de cas, les résultats laissent penser que les épisodes de stress aigu peuvent altérer la fonction cardiaque et que le stress prolongé lié au travail pourrait induire des changements dans la fonction cardiaque. Il est possible d'utiliser la surveillance cardiaque de façon prospective pour déceler les changements provoqués par une exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique, cette exposition pouvant conduire au développement de symptômes de TSPT.

Mots-clés : échocardiographie, séismocardiographie, TSPT, étude de cas, systole, diastole, indices de performance myocardique, système nerveux autonome

Introduction

L'association entre la fonction cardiovasculaire d'une part et le trouble de stress post-traumatique (TSPT) et les autres blessures

liées au stress post-traumatique d'autre part reste un sujet très peu étudié. Les changements dans la fonction du système nerveux autonome attribuables au TSPT ont fait l'objet de nombreux travaux de

Points saillants

- Il y a peu de recherche sur les intervalles de temps du cycle cardiaque et le trouble de stress post-traumatique (TSPT).
- Des dysfonctions systoliques et diastoliques ont été observées en lien avec un TSPT, mais la littérature s'intéressant à la fonction cardiaque en contexte de TSPT est très hétéroclite.
- L'exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique peut entraîner une augmentation de l'indice de performance myocardique, laquelle relève en partie d'une réduction du temps de systole.
- L'exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique est susceptible de mener à une hausse du stress cardiaque, ce que la séismocardiographie permet de surveiller facilement et de manière non invasive.

recherche, et la plupart des méta-analyses sur le sujet traitent de la variabilité de la fréquence cardiaque^{1,2}. Chez les patients ayant un TSPT, une méta-analyse a fait état d'une diminution de la moyenne quadratique des intervalles R-R successifs ainsi que des paramètres HF (hautes fréquences) et BF (basses fréquences) au repos pendant la période de référence, et d'une diminution du paramètre HF en situation de stress aigu³. Selon la même méta-analyse, il y a augmentation du ratio BF/HF au repos chez les personnes atteintes de TSPT, ce qui témoigne d'une réduction du tonus parasympathique³.

Rattachement des auteurs :

1. Faculté de kinésiologie et d'études en santé, Université de Regina, Regina (Saskatchewan), Canada
2. Département de psychologie, Université de Regina, Regina (Saskatchewan), Canada

Correspondance : J. Patrick Neary, Faculté de kinésiologie et d'études en santé, Université de Regina, Regina (Saskatchewan) S4S 0A2; tél. : 306-585-4844; courriel : patrick.neary@uregina.ca

Si la variabilité de la fréquence cardiaque peut être un indicateur utile du stress émotionnel et physique⁴, elle ne peut à elle seule expliquer entièrement le mécanisme à l'origine de l'altération de la fonction cardiaque, dans la mesure où elle est seulement le reflet de la régulation de l'équilibre du système nerveux autonome⁵. La compréhension de l'interaction entre le TSPT et la fonction cardiaque (plus particulièrement la fonction ventriculaire droite et gauche ainsi que les intervalles de temps du cycle cardiaque) pourrait aboutir à la découverte d'outils de diagnostic utiles. L'évaluation de la fonction cardiaque se fait habituellement par échocardiographie, une méthode couramment employée pour étudier la dysfonction cardiaque⁶. Dans une étude menée auprès de 28 femmes (14 ayant un TSPT et 14 n'en ayant pas), les auteurs ont observé des perturbations significatives de la pression télédiastolique et de la force de succion ventriculaire gauche au sein du groupe de femmes présentant un TSPT⁷. La force de succion du cœur se mesure habituellement par la vitesse de propagation en début de diastole et, lorsque celle-ci est combinée à une altération de la pression télédiastolique, c'est le signe d'une dysfonction diastolique ventriculaire gauche susceptible d'être causée par un stress émotionnel⁷.

Le TSPT induit par une maladie cardiaque a fait l'objet d'études, une grande partie des travaux de recherche étant axés sur le TSPT à la suite d'un événement cardiaque aigu comme un infarctus du myocarde⁸. On recense toutefois très peu d'études cliniques qui évaluent la fonction cardiaque par échocardiographie en tant que mesure principale pour rendre compte des changements observés dans les paramètres du cycle cardiaque au sein des milieux professionnels et stressants. Les coûts, le temps et l'accès à des techniciens sont au nombre des obstacles potentiels à l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) cardiaque et de l'échocardiographie dans la recherche⁹. Or d'autres méthodes sont utilisables pour analyser la fonction cardiaque et les intervalles de temps du cycle cardiaque, notamment la balistocardiographie (BCG) et la séismocardiographie (SCG)¹⁰⁻¹⁴. Les analyses faites par BCG ou par SCG permettent d'observer les paramètres du cycle cardiaque à chaque battement de cœur lors de la collecte de données, et elles sont relativement peu coûteuses¹⁵. La SCG a été mise en corrélation avec le

volume d'éjection systolique¹⁶ ainsi qu'avec le temps de systole total et la période de pré-éjection¹⁷, et elle a été utilisée pour évaluer les modifications de la fonction cardiaque associées à la forme longue et à la forme aiguë de la COVID-19^{15,18}, aux commotions cérébrales aiguës liées au sport¹⁹ et à la cardiomyopathie hypertrophique²⁰. De plus, des données normatives sur le cycle cardiaque obtenues par SCG ont également été publiées²¹.

On sait que les intervalles de temps du cycle cardiaque varient en fonction de l'âge et du sexe. Le temps de relaxation isovolumique (TRIV) augmente avec l'âge, ce qui entraîne une augmentation de l'indice de performance myocardique (IPM). L'IPM tend à augmenter, passant de 0,38 chez les 20 à 39 ans à 0,53 chez les 60 ans et plus, le TRIV passant quant à lui de 78 ms chez les 20 à 39 ans à 109 ms chez les 60 ans et plus²². Des différences existent également entre les hommes et les femmes en matière de temps de systole et d'IPM²². Le remodelage cardiaque et les caractéristiques sociodémographiques de la personne sont deux autres facteurs susceptibles d'avoir une influence sur ces intervalles de temps, selon les exigences du sport. Concrètement, selon les données normatives obtenues chez les hommes et chez les femmes, les athlètes dans la jeune vingtaine présentent des valeurs moyennes différentes (respectivement, TRIV de 82 ms et de 97 ms, et IPM de 0,41 et de 0,46)²¹.

Dans cette étude, nous passons brièvement en revue la littérature sur le TSPT et la fonction cardiaque en vue de mettre en lumière l'importance de la surveillance de la performance cardiaque utilisable dans des milieux de travail stressants, comme ceux où évolue le personnel en sécurité publique (personnel des services frontaliers, travailleurs correctionnels, pompiers, ambulanciers paramédicaux, policiers, préposés aux communications de la sécurité publique, etc.)²³. Nous présentons également, à titre de validation de principe, une étude de cas portant sur les modifications de la fonction cardiaque mesurées par SCG à la suite d'une exposition à différents facteurs de stress aigu liés au travail.

Méthodologie

Revue de la littérature

Nous avons interrogé les bases de données PubMed, MEDLINE et Web of Science

à l'aide des mots-clés suivants : [(echo-cardiography) OR (ejection fraction) OR (left ventricular) OR (right ventricular)) AND ((PTSD) OR (post traumatic stress disorder))]. La période de recherche allait de la date de création de la base de données au 30 avril 2022. Compte tenu du nombre limité d'études trouvées, nous avons décidé d'inclure dans nos travaux toutes les études incluant des paramètres échocardiographiques. Cette revue est narrative par nature et vise à résumer la littérature existante. La recherche a été effectuée par un auteur (JS), et une vérification des références citées dans les articles retenus a aussi été réalisée afin d'obtenir d'autres articles correspondant aux critères de recherche.

Étude de cas

Approbation de l'éthique de la recherche

Cette étude a été approuvée par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université de Regina (n° 2020-073) et le participant a signé un formulaire de consentement éclairé.

Participant et matériel

Le participant, un physiothérapeute en réadaptation physique pratiquant en milieu hospitalier, a recueilli chaque jour des données sur son activité cardiaque au cours d'une période de référence. Par la suite, il a continué de recueillir chaque jour des données sur son activité cardiaque à l'aide d'un capteur cardiaque non invasif (LLA Recordis, LLA Technologies, Langley, Colombie-Britannique, Canada) afin d'enregistrer les vibrations du sternum résultant de la contraction du cœur¹⁵. Le capteur cardiaque était fixé à une seule électrode en gel adhésif pour électrocardiogramme (ECG) et placé directement sur la peau, à une distance d'un centimètre au-dessus du processus xiphoïde, sur le sternum. L'enregistrement des données cardiaques durait une minute et se faisait pendant que le participant était au repos, couché sur le dos. Le participant a recueilli des données une fois par jour, pendant un mois.

Analyse des données

Les données enregistrées ont été analysées hors ligne. Les détails de l'analyse de ces données ont déjà été publiés¹⁵. En résumé, un filtre passe-bande de Butterworth de premier ordre avec une fréquence de coupure basse de 1 Hz et une fréquence de coupure haute de 30 Hz a été appliqué au signal. Les points caractéristiques du cycle

cardiaque ont été analysés à l'aide d'un algorithme exclusif indépendant (LLA Technologies Inc.). Ces points étaient la fermeture de la valve mitrale (FVM), l'ouverture de la valve aortique (OVA), la torsion aortique (TA), la systole aortique, la période d'éjection rapide (PER), la fermeture de la valve aortique (FVA), la détorsion ventriculaire, l'ouverture de la valve mitrale (OVM), la systole atriale (SA) et la force de torsion contractile (FT). Après extraction des caractéristiques morphologiques, nous avons calculé certaines caractéristiques temporelles (exprimées en millisecondes [ms]) : la diastole (intervalle séparant la FVM et l'OVM), la systole (intervalle séparant l'OVA et la FVA), le temps de contraction isovolumique (TCIV; intervalle séparant la FVM et l'OVA), le temps de relaxation isovolumique (TRIV; intervalle séparant la FVA et l'OVM) et la fin de la PER. Chaque battement de cœur enregistré au cours de la période de collecte de données d'une minute a été analysé¹⁵.

Après avoir calculé ces caractéristiques temporelles, nous avons procédé au calcul des indices de performance courants. Nous avons ainsi obtenu l'indice de performance systolique (IPS) en divisant le TCIV par la systole [TCIV/systole], l'indice de performance diastolique (IPD) en divisant le TRIV par la systole [TRIV/systole] et enfin l'indice de performance myocardique ou cardiaque (ou indice de Tei) en calculant la somme du TCIV et du TRIV puis en la divisant par la systole [(TCIV + TRIV)/systole]^{15,24,25}.

Le participant a enregistré des données à trois occasions distinctes (« incidents ») au cours desquelles il a été exposé à un important facteur de stress au travail, soit un événement potentiellement traumatique sur le plan psychologique : (1) incident A – le participant a manifesté de la détresse psychologique liée au travail en raison des tendances suicidaires d'un client; (2) incident B – le participant a de nouveau manifesté de la détresse psychologique liée au travail en raison d'une alerte à la bombe/menace d'incident terroriste et (3) incident C – le participant a vécu une semaine particulièrement stressante au travail (moyenne des données enregistrées au cours de la semaine). Étant donné que les données étaient recueillies chaque jour, la moyenne des deux jours précédant l'exposition à l'événement potentiellement traumatique sur

le plan psychologique a été utilisée comme référence.

Justification de l'étude de cas

L'étude de cas que nous présentons ici a été réalisée conformément aux lignes directrices CARE sur les études de cas²⁶. Elle fournit des exemples de stress lié au travail chez un homme exposé à trois situations extrêmement stressantes dans le cadre de son emploi et vise à démontrer les effets, sur la fonction cardiaque, d'événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique. Il convient toutefois de noter que le participant n'a pas vécu de TSPT, mais plutôt des épisodes répétés de stress aigu, qui peuvent avoir des effets durables sur le cœur. En fait, la Gendarmerie royale du Canada (GRC) a récemment mis au point un protocole d'étude destiné à observer l'exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique, ceux-ci étant susceptibles de causer des blessures de stress post-traumatique²⁷. L'exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique peut en effet conduire à un TSPT^{28,29}. Par exemple, les membres du personnel infirmier sont souvent exposés à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique, et cette exposition a été associée à des problèmes de santé mentale tels que le TSPT²⁹. Le fait d'éliminer ou même de réduire l'exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique pourrait donc diminuer la prévalence du TSPT chez les membres du personnel infirmier, dans une proportion pouvant atteindre 56,7 %²⁹. Les effets de ces événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique sur le cycle cardiaque ne sont pas bien compris. L'étude de cas présentée ici permet de valider le principe selon lequel l'exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique est susceptible de provoquer des modifications à court terme de la fonction cardiaque, ce qui explique l'altération de la fonction cardiaque chez les personnes atteintes de TSPT à la suite d'une exposition répétée à des facteurs de stress.

Résultats

Revue de la littérature

La figure 1 est un diagramme de flux des résultats de nos recherches dans les bases de données, qui nous ont permis d'obtenir 45 études dans PubMed/MEDLINE et

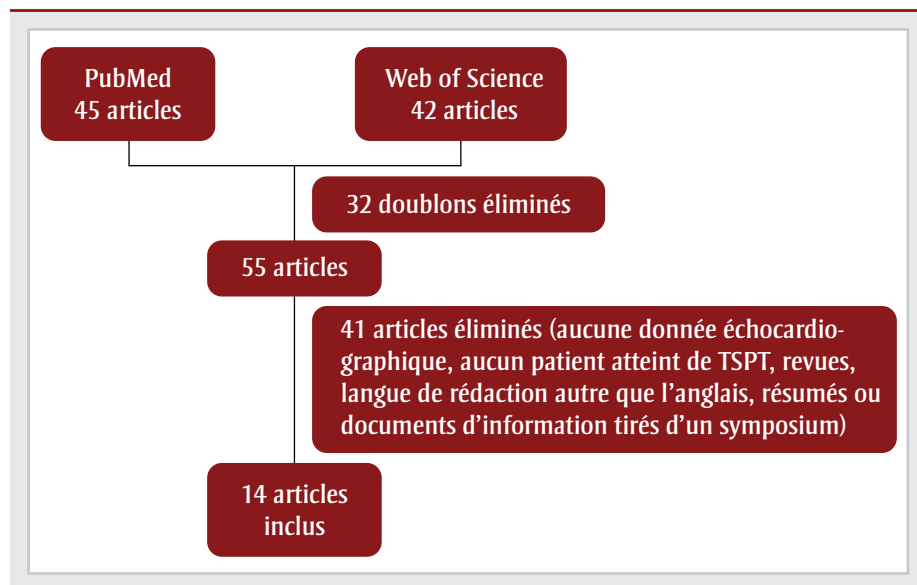
42 études dans Web of Science. Sur ces 87 études, 32 étaient des doublons et ont donc été éliminées, portant le total des articles à 55. Parmi ces articles, 7 consistaient en des études de cas, 1 concernait des biomarqueurs cardiaques, 1 était un document d'information issu d'un symposium, 5 étaient axés sur les changements anatomiques du cerveau, 2 avaient pour principale mesure des données d'ECG, 2 reposaient sur l'utilisation de modèles animaux et mettaient l'accent sur les voies moléculaires, 2 n'étaient pas rédigés en anglais, 5 étaient des articles de synthèse, 1 était axé sur l'état de stress aigu et 18 portaient principalement sur l'apparition de symptômes de TSPT à la suite d'une intervention cardiaque ou à l'observation de l'évolution des symptômes de TSPT à la suite d'une intervention chirurgicale ou d'une anesthésie. Aucun des 10 articles relevés dans Web of Science (et qui ne se trouvaient pas dans PubMed) n'a été inclus dans notre revue de la littérature : quatre de ces études ne comportaient pas de données échocardiographiques, une n'avait pas été menée auprès d'une population ayant un TSPT, une était une revue, une autre était un résumé et trois portaient sur les changements anatomiques du cerveau. Comme l'illustre la figure 1, 41 des 55 articles ont été éliminés, ce qui laisse 14 études pour notre revue de la littérature.

La recherche dans la base de données PubMed a également permis de trouver une étude axée sur les modifications échocardiographiques attribuables au TSPT, et les résultats font état d'une altération de la fonction diastolique ventriculaire gauche, plus précisément, de la pression télédiastolique et de la force de succion du ventricule gauche chez les participantes ayant un TSPT⁷. Cette étude de Hieda et de ses collaborateurs⁷ est la plus représentative des modifications échocardiographiques spécifiquement dues au TSPT en l'absence d'autres dysfonctions cardiaques. Il convient de noter que le groupe de participantes ayant un TSPT comptait trois femmes ménopausées alors que le groupe témoin n'en comptait qu'une, un facteur qui pourrait avoir eu une influence sur la fonction cardiaque⁷.

Cardiomyopathie de Takotsubo

De nombreuses études de cas trouvées pour cette revue font état d'une cardiomyopathie de Takotsubo (dans sa forme inversée ou non) (tableau 1), une maladie dont les symptômes s'apparentent

FIGURE 1
Articles issus de la recherche dans PubMed et Web of Science



Abbréviation : TSPT, trouble de stress post-traumatique.

Remarque : La période de recherche dans les bases de données PubMed et Web of Science va de la date de création de la base de données au 30 avril 2022.

à ceux de l'infarctus du myocarde et qui est déclenchée par un événement stressant, entraînant un ballonnement apical (gonflement du ventricule gauche). La plupart des patients (3 sur 4) ont développé des anomalies du ventricule gauche après avoir été impliqués dans un accident de la route³⁰, une agression physique³¹ ou une violente dispute³², ou encore après avoir participé à une mission en Iraq et reçu un diagnostic de TSPT³³. Une étude prospective menée auprès de patients présentant une cardiomyopathie de Takotsubo a montré qu'il y avait retour à la normale de la fraction d'éjection du ventricule gauche au suivi à trois mois³⁴.

Antécédents de complications cardiaques

Les études incluant des participants touchés par plusieurs complications cardiaques peuvent également fournir indirectement des éléments sur le lien entre le TSPT et la fonction cardiaque (tableau 1). Par exemple, des patients atteints de régurgitation mitrale ont fait état de symptômes de TSPT plus marqués, mais aucune différence statistiquement significative n'a été relevée entre les patients avec TSPT (n = 44) et ceux sans TSPT (n = 144)³⁵. Toutefois, la présence d'une maladie cardiaque était un facteur de confusion, car les patients ayant un TSPT avaient également tendance à déclarer davantage de symptômes somatiques. Dans une étude où les auteurs ont comparé 111 970 vétérans avec insuffisance cardiaque et fraction

d'éjection réduite mais sans TSPT et 11 039 vétérans avec insuffisance cardiaque, fraction d'éjection réduite et TSPT, le TSPT a été associé à un taux de décès accru³⁶. Aucune autre donnée cardiaque n'a permis d'établir une distinction entre les patients avec TSPT et ceux sans TSPT.

Dans une étude menée auprès de 128 patients porteurs d'un défibrillateur cardiovertible implantable, les auteurs ont observé un lien statistiquement significatif entre, d'une part, le fait d'être une femme et le fait d'avoir une fraction d'éjection ventriculaire gauche altérée et, d'autre part, la gravité du TSPT³⁷, mais malheureusement les données cardiaques et les données psychologiques ont été recueillies à 30 jours d'intervalle plutôt que le même jour. Une étude s'intéressant aux coronaropathies a révélé des différences statistiquement significatives entre la fraction d'éjection ventriculaire gauche des patients avec un TSPT actif (n = 95) et celle des patients sans TSPT actif (n = 927), ces différences pouvant s'expliquer en partie par l'altération de la fonction ventriculaire³⁸. On a également montré que des patients victimes d'un infarctus aigu du myocarde à la suite d'une intervention coronaire par voie percutanée et présentant une fraction d'éjection ventriculaire gauche inférieure à 50 % étaient plus susceptibles de souffrir de TSPT³⁹, mais des études réalisées auprès de patients en post-infarctus du myocarde n'ont relevé

aucune différence statistiquement significative entre les patients avec TSPT (n = 40) et ceux sans TSPT (n = 19)^{40,41}.

Enfin, l'étude des références citées dans les articles retenus a permis d'avoir accès à une autre étude, dans laquelle les auteurs se sont fondés sur les données échocardiographiques et la variabilité de la fréquence cardiaque pour évaluer la fonction cardiaque de patients présentant un TSPT et des antécédents d'infarctus du myocarde⁴². Ces résultats n'ont révélé aucune différence statistiquement significative entre les patients avec TSPT (n = 34) et ceux sans TSPT (n = 34) pour ce qui a trait au diamètre télédiastolique du ventricule gauche ou à la fraction d'éjection ventriculaire gauche⁴².

Les autres études réalisées auprès de patients ayant des complications cardiaques faisaient appel à des questionnaires ou ne comportaient pas de données échocardiographiques (tableau 1).

TSPT seulement

Des chercheurs ont également eu recours à l'échocardiographie de référence pour comparer la diminution du diamètre télé-systolique du ventricule gauche et l'augmentation de la fraction d'éjection chez des militaires vétérans ayant un TSPT (n = 91) et chez des militaires vétérans n'ayant pas de TSPT (n = 800)⁴³. Les résultats d'une autre recherche font état d'aucune différence statistiquement significative entre les paramètres échocardiographiques de patients avec TSPT (n = 12) et ceux de témoins bien portants (n = 12)⁴⁴, mais la petite taille de l'échantillon a probablement eu une influence sur les résultats.

On dispose de données non cliniques suggérant une augmentation du tonus du système nerveux autonome sympathique (évalué selon la variabilité de la fréquence cardiaque) en situation de stress⁴⁵, mais l'information fournie par la variabilité de la fréquence cardiaque est très limitée et ne peut pas servir à décrire la morphologie fonctionnelle ni les mécanismes directs sous-jacents. Les travaux de recherche par échocardiographie menés auprès de patients atteints de TSPT donnent à penser qu'une fonction diastolique ventriculaire gauche altérée est associée au TSPT en l'absence de comorbidités cardiaques. La plupart des études qui comportent des données échocardiographiques portent sur

TABEAU 1
Résumé des études pertinentes sur la fonction cardiaque et le TSPT incluses dans la revue de la littérature

Auteur	Taille de l'échantillon	Population	Âge (moyenne $\pm$ ET), en années	Principaux résultats	Points forts et limites
Hieda et al., 2019 ⁷	28	14 femmes avec TSPT et 14 sans TSPT choisies comme témoins (diagnostic établi à l'aide de l'échelle CAPS-5); aucune autre comorbidité associée à une maladie cardiaque	43,9 $\pm$ 11,6	Les femmes ayant un TSPT présentaient une valeur E/e' (pression télédiastolique) augmentée et une valeur Vp (force de succion du ventricule gauche en début de diastole) réduite, évoquant une altération de la fonction diastolique ventriculaire gauche	- Mesures échocardiographiques directes - Population composée de femmes uniquement 3 femmes ménopausées au sein du groupe de femmes ayant un TSPT et 1 femme ménopausée au sein du groupe témoin, un facteur qui peut avoir eu une influence sur les résultats
Sawatari et al., 2016 ³⁷	128	Patients non hospitalisés porteurs d'un défibrillateur cardiovertible implantable (dont 103 hommes)	59 $\pm$ 16	Le fait d'être une femme et d'avoir une FEVG altérée a été corrélé à la gravité du TSPT, et de manière plus marquée lorsque la FEVG était inférieure à 35 %	- La présence d'un défibrillateur cardiovertible implantable rend l'évaluation difficile et exerce une influence additionnelle sur la fonction cardiaque - Les données échocardiographiques et les données du questionnaire n'ont pas été recueillies le même jour - Les patients étaient polymédicamentés
Bayer-Topilsky et al., 2013 ³⁵	266	186 patients (dont 134 hommes) présentant une régurgitation mitrale modérée à sévère et 80 témoins (38 patients ayant une fonction cardiaque normale et 42 patients ayant un léger prolapsus de la valve mitrale; 64 % présentant une légère régurgitation mitrale)	60 $\pm$ 13	Scores de TSPT supérieurs chez les patients atteints de régurgitation mitrale et aucune différence significative dans les mesures échocardiographiques	- Aucun lien causal ne peut être inféré étant donné qu'il s'agit d'une étude prospective - Seulement 42 des 186 sujets participant à l'étude avaient un TSPT - Le groupe de patients ayant un TSPT présentait des symptômes somatiques plus marqués en raison de complications cardiaques
Ilhan et al., 2013 ⁴⁴	24	12 patients ayant un TSPT (dont 11 femmes) et 12 témoins bien portants	28,4 $\pm$ 7,5	Aucune différence significative dans la fonction ventriculaire gauche mesurée par échocardiographie transthoracique	- Échantillon de petite taille - Étude principalement axée sur les paramètres d'ECG - Caractéristiques individuelles limitées
Xue et al., 2012 ⁴³	891	91 militaires vétérans ayant un TSPT (dont 89 hommes)	66 $\pm$ 13	Diminution du diamètre téléstolique du ventricule gauche et augmentation de la fraction d'éjection chez les participants atteints de TSPT à l'échocardiogramme de référence	- Échocardiogrammes de référence seulement (aucune donnée échocardiographique de suivi) - Étude axée sur les biomarqueurs de lésions cardiaques - Échantillons de taille inégale (entre le groupe avec TSPT et le groupe sans TSPT)
Waldenborg et al., 2011 ³⁴	13	9 patientes présentant une cardiomyopathie de Takotsubo pour lesquelles on disposait de données cardiaques	De 69 à 74	Retour à la normale de la FEVG au suivi à trois mois	- Échantillon de petite taille - Aucune autre donnée échocardiographique - Aucune comparaison directe avec des patients atteints de TSPT
Cohen et al., 2009 ³⁸	1 022	95 patients avec un TSPT actif (dont 72 hommes) et 927 patients sans TSPT actif	61 $\pm$ 11	Aucune différence significative dans la FEVG ou l'ischémie	- Échantillons de taille inégale - Le TSPT peut augmenter le risque de maladie cardiovasculaire - Aucune implication causale - Autres complications cardiaques

Suite à la page suivante

TABEAU 1 (suite)
Résumé des études pertinentes sur la fonction cardiaque et le TSPT incluses dans la revue de la littérature

Auteur	Taille de l'échantillon	Population	Âge (moyenne $\pm$ ET), en années	Principaux résultats	Points forts et limites
Guler et al., 2009 ⁴⁰	394	69 patients ont participé à l'entrevue de diagnostic et 40 présentaient un TSPT	61 $\pm$ 10	La FEVG ne s'est pas révélée un facteur prédictif du TSPT	- Échantillons de taille inégale - Aucune implication causale - Patients en post-infarctus du myocarde - Mesure de la FEVG par ventriculographie
Lakusic et al., 2007 ⁴²	68	34 vétérans de sexe masculin ayant des antécédents d'infarctus du myocarde et un TSPT et 34 vétérans de sexe masculin ayant des antécédents d'infarctus du myocarde mais sans TSPT	49 $\pm$ 8	Aucune différence significative dans les évaluations échocardiographiques	- Étude principalement axée sur la surveillance par ECG de la variabilité de la fréquence cardiaque - La présence d'antécédents d'infarctus du myocarde peut avoir une influence sur les résultats
Pedersen et al., 2003 ⁴¹	227	112 patients (dont 33 femmes) ayant subi un infarctus du myocarde dans les 4 à 6 semaines précédant l'étude et 115 témoins bien portants; 25 patients et 8 témoins ont été considérés comme ayant un TSPT	60 $\pm$ 9,7	Aucun lien n'a été trouvé entre la FEVG et le diagnostic de TSPT	- Mesures psychologiques autoévaluées - La présence d'antécédents d'infarctus du myocarde pourrait avoir eu une influence sur les réponses - Échantillons de taille inégale

Abréviations : CAPS-5, Clinician Administered PTSD Scale (échelle du TSPT administrée par le clinicien); E/e', rapport entre la vélocité du flux mitral entrant en début de diastole et la vélocité du tissu de l'anneau mitral en début de diastole; ET, écart-type; FEVG, fraction d'éjection ventriculaire gauche; TSPT, trouble de stress post-traumatique; Vp, vitesse de propagation.

Remarques : Seules les études comportant des mesures échocardiographiques effectuées chez des patients atteints de TSPT ont été incluses. Aucune étude de cas n'a été incluse.

des patients présentant déjà des complications cardiaques. Il faut donc réaliser des études prospectives pour évaluer les modifications de l'activité mécanique cardiaque chez des personnes atteintes de TSPT mais sans complications cardiaques préexistantes, à l'instar du protocole d'étude de la GRC²⁷.

Étude de cas basée sur la séismocardiographie

Participant

Le participant était un homme de 33 ans (indice de masse corporelle [IMC] = 29 kg/m²) travaillant dans un milieu clinique de réadaptation physique et dans un bureau. Il n'avait jamais fumé, buvait de l'alcool en contexte social, était sédentaire durant une période stressante au travail.

Incident A

Au cours de l'incident A, le participant a appris que l'un des clients qu'il suivait à l'hôpital de réadaptation était suicidaire. Il a travaillé étroitement avec ce client pour l'aider à composer avec cette expérience suicidaire et s'en remettre, ce qui l'a amené à vivre lui aussi de la détresse psychologique. Un séismocardiogramme a été

fait le matin suivant l'incident. La fréquence cardiaque mesurée étant semblable à la fréquence cardiaque de référence, les modifications des intervalles de temps du cycle cardiaque ne peuvent être attribuables à des variations dans la fréquence cardiaque. Parmi les modifications des intervalles de temps du cycle cardiaque, mentionnons une prolongation du TCIV, qui a atteint 57 ms (48 %), et une réduction du temps de systole, qui est passé à 218 ms (–24 %). Une réduction de l'intervalle séparant la SA et la FVM (–47 %) et de la PER (–26 %) en l'absence d'élévation de la fréquence cardiaque a également été observée, ce qui évoque un maintien inadéquat de la pression ventriculaire. La modification du temps de systole a, en retour, eu une incidence sur les indices de performance, avec des augmentations de l'IPM (60 %), de l'IPS (93 %) et de l'IPD (47 %), qui tendent toutes à indiquer une élévation du stress cardiaque¹⁵. La hausse de la FT (milligravité [mG]) témoigne également d'une élévation du stress cardiaque.

Incident B

Au cours de l'incident B, il y a eu une alerte à la bombe au milieu de travail du

participant, ce qui lui a causé de la détresse psychologique. Le participant n'a pas pris part aux vérifications entourant l'alerte à la bombe mais, en raison de cette menace, son milieu de travail s'est révélé plus stressant que d'habitude. Il a dû prendre certaines précautions et évacuer rapidement la zone touchée. Une fois l'alerte à la bombe levée, le participant a pu retourner au travail. Les données ont été recueillies après le travail, pendant que le participant était au repos. Comme pour l'incident A, on a constaté une augmentation du TCIV, qui a atteint 49 ms (26 %), et une diminution du temps de systole, qui est passé à 220 ms (–23 %). Encore une fois, comme pour l'incident A, la vive détresse vécue par le participant indique le maintien difficile d'une pression ventriculaire adéquate, comme en font foi la réduction de l'intervalle séparant la SA et la FVM, qui est passé à 14 ms (–32 %), et la réduction de la PER, qui est passée à 53 ms (–36 %), en l'absence d'élévation de la fréquence cardiaque. Étant donné la diminution du temps de systole, il y a eu augmentation des indices de performance, avec un IPM de 0,63 (48 %), ce qui évoque un stress cardiaque élevé. L'augmentation de la FT, qui a atteint 12 mG

(68 %), témoigne aussi d'une élévation du stress cardiaque.

Incident C

Au cours de l'incident C, le participant a vécu de la détresse après avoir passé une semaine particulièrement stressante au travail due à des changements inattendus dans les exigences liées au lieu de travail, à des conditions de travail difficiles et très stressantes et à une anxiété soutenue. Au cours de cette semaine, la fréquence cardiaque du participant est demeurée semblable à sa fréquence cardiaque de référence. Étant donné que les données présentées correspondent à la moyenne des données pour la semaine, l'augmentation du TCIV, qui a atteint 46 ms (19 %), et la diminution du temps de systole, qui est passé à 234 ms (–19 %), ne sont pas de la même ampleur que les changements observés pour les incidents A et B. Toutefois, comme en témoignent la diminution de la PER, qui est passée à 65 ms (–21 %), et l'augmentation de l'IPM et de la FT, qui ont atteint respectivement 0,59 (38 %) et 11 mG (53 %), les problèmes liés au maintien de la pression ventriculaire et l'élévation du stress cardiaque étaient toujours présents.

Le tableau 2 rassemble toutes les données des paramètres du cycle cardiaque pour chacune des variables.

Analyse

Résultats variables

À l'heure actuelle, les travaux de recherche dans lesquels la fonction cardiaque chez les patients atteints de TSPT est le principal résultat étudié sont peu nombreux. Selon les résultats de notre revue de la littérature, la dysfonction cardiaque est variable d'une étude à l'autre. En effet, des atteintes diastoliques⁷ et systoliques^{37,43} ont été observées chez des patients ayant reçu un diagnostic de TSPT, alors que les résultats d'autres recherches tendent à indiquer l'absence de lien entre les paramètres tels que la fraction d'éjection ventriculaire gauche et le TSPT^{34,38,41,42,44}. Nonobstant ces résultats variables, la plupart des études n'ont pas mis en corrélation les paramètres échocardiographiques et le TSPT en tant que principal résultat de recherche.

Implications de l'étude de cas basée sur la séismocardiographie

L'étude de cas permet de valider le principe selon lequel les intervalles de temps du cycle cardiaque peuvent fluctuer en présence de facteurs de stress aigu liés au travail. L'exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique et à d'autres facteurs de stress cumulatifs pouvant mener à des

problèmes de santé mentale chroniques comme le TSPT^{28,29}, la détection précoce des dysfonctions cardiaques est susceptible de contribuer à renforcer l'adoption de comportements proactifs en matière de soins de santé. Nous avons vu qu'à long terme, des difficultés dans le maintien de la pression ventriculaire peuvent se traduire par des complications touchant la force de succion du ventricule gauche chez les femmes qui présentent un TSPT⁷. Si l'on se fonde sur les résultats de notre étude de cas, la dysfonction diastolique parfois présente chez les personnes atteintes de TSPT semble susceptible de résulter d'un stress cardiaque élevé accumulé pendant une période de crise.

Les changements observés dans le profil cardiaque du participant de notre étude de cas après l'exposition de ce dernier à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique sont attribuables à un stress aigu élevé. L'augmentation du TCIV (19 % à 48 %) et de la FT (53 % à 73 %), de même que la diminution du temps de systole (–19 % à –24 %), de l'intervalle entre la SA et la FVM (–14 % à –47 %) et de la PER (–21 % à –36 %) donnent à penser que le stress aigu a causé des complications cardiaques relevant des tentatives de maintien d'une pression ventriculaire adéquate. L'augmentation du TCIV suppose des complications

TABEAU 2
Intervalles de temps du cycle cardiaque et écart par rapport à la période de référence pour les trois incidents vécus par le participant à l'étude de cas

Indice cardiaque	Période de référence	Incident A	Incident B	Incident C
Fréquence cardiaque (bpm)	70	71 (1)	73 (4)	68 (–3)
TCIV (ms)	39	57 (48)	49 (26)	46 (19)
TRIV (ms)	83	91 (10)	91 (10)	90 (9)
Systole (ms)	287	218 (–24)	220 (–23)	234 (–19)
Diastole (ms)	459	454 (–1)	471 (3)	496 (8)
OVM à E (ms)	12	8 (–3)	8 (–17)	10 (–10)
SA à FVM (ms)	20	11 (–47)	14 (–32)	18 (–14)
PER (ms)	82	61 (–26)	53 (–36)	65 (–21)
IPM	0,43	0,68 (60)	0,63 (48)	0,59 (38)
IPS	0,14	0,26 (93)	0,22 (63)	0,20 (47)
IPD	0,29	0,42 (47)	0,41 (44)	0,39 (36)
SA (mG)	6	5 (–4)	5 (–11)	5 (–18)
FT (mG)	7	12 (73)	12 (68)	11 (53)

Abréviations : bpm, battement par minute; FT, force de torsion; IPD, indice de performance diastolique; IPM, indice de performance myocardique; IPS, indice de performance systolique; mG, milligravité; ms, milliseconde; OVM à E, intervalle entre l'ouverture de la valve mitrale et l'onde E; PER, période d'éjection rapide; SA, systole atriale; SA à FVM, intervalle entre la systole atriale et la fermeture de la valve mitrale; TCIV, temps de contraction isovolumique; TRIV, temps de relaxation isovolumique.

Remarque : Toutes les données sont exprimées sous forme de valeur moyenne pour chaque incident (% d'écart par rapport à la période de référence).

systoliques et des difficultés de formation des gradients de pression ventriculaire. Selon le modèle de Wiggers⁴⁶, le stress aigu semble prolonger le temps qu'il faut pour que la pression ventriculaire atteigne et dépasse la pression aortique (permettant ainsi l'ouverture de la valve aortique) et, une fois la valve aortique ouverte, il y a augmentation de la FT, laquelle est nécessaire au maintien du volume d'éjection systolique (et du débit cardiaque) en cas de temps de systole réduit.

Par conséquent, comme le montrent d'autres travaux de recherche dans lesquels un temps d'éjection diminué était un facteur prédictif de complications cardiaques, notamment de décès toutes causes confondues et d'insuffisance cardiaque⁴⁷, un stress psychologique constant peut se traduire par des périodes prolongées au cours desquelles le temps d'éjection est diminué, ce qui augmente le risque de maladie cardiaque et peut indiquer qu'une blessure de stress post-traumatique est survenue. Fait important à mentionner, les changements dans les intervalles de temps du cycle cardiaque se sont tous produits en l'absence d'augmentation de la fréquence cardiaque. On s'attend à une modification des intervalles de temps du cycle cardiaque lorsqu'il y a élévation de la fréquence cardiaque (par exemple une réduction des intervalles de temps pendant l'activité physique), ce qui fait que les résultats de l'étude de cas signifient nécessairement une altération des fonctions systolique et diastolique chez le participant.

L'IPM est capable de refléter le stress cardiaque¹⁵. Cet indice est directement lié au TRIV et au TCIV, et inversement lié au temps de systole $[(TCIV + TRIV)/systole]$ ^{24,25}. Compte tenu des changements observés dans le temps de systole et le TCIV du participant de notre étude de cas, le stress aigu qu'il a vécu a entraîné une augmentation de l'IPM. Un IPM élevé semble courant chez les personnes qui ont des antécédents d'événements cardiaques indésirables majeurs, et il s'agit d'une valeur utile pour prédire les événements cardiaques indésirables majeurs au sein de la population générale⁴⁸. Les cytokines pro-inflammatoires sont associées aux intervalles de temps du cycle cardiaque et à l'IPM⁴⁹. Bien que nos constatations soient limitées pour le moment à notre étude de cas, les mécanismes donnent à penser qu'un stress psychologique accru peut provoquer une augmentation de la libération

de cytokines pro-inflammatoires et ainsi altérer la fonction cardiaque. Le stress psychologique a été associé à plusieurs blessures de stress post-traumatique, comme on a pu l'observer chez des journalistes exposés à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique⁵⁰. Par ailleurs, il a été prouvé que l'exposition chronique à des facteurs de stress liés au travail chez le personnel de la sécurité publique et le personnel militaire augmente les concentrations de cytokines en circulation et nuit à l'intégrité de la barrière hémato-encéphalique⁵¹. Ces changements sont susceptibles de provenir de complications physiques (comme un manque de sommeil ou l'épuisement), seules ou associées à une exposition de courte durée à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique, ces dernières apparaissant reliées à un risque accru de TSPT⁵¹. Il faut poursuivre les recherches pour mieux comprendre les intervalles de temps du cycle cardiaque chez les patients avec TSPT.

Points forts et limites

Notre revue de la littérature était exhaustive et elle a permis de faire un survol des travaux de recherche qui s'intéressent à l'échocardiographie et au TSPT. En outre, notre étude de cas met en lumière de nouveaux éléments d'information sur l'altération des intervalles de temps du cycle cardiaque chez les personnes exposées à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique, cette altération ayant des conséquences sur les indices de performance (IPM, IPS, IPD) relevés. Ces résultats, qui laissent penser que le stress aigu lié au travail peut avoir un effet direct sur le cycle cardiaque, n'ont jamais été rapportés auparavant dans la littérature.

En contrepartie, l'approche utilisée pour notre étude de cas limite la possibilité de généralisation de l'étude. Les résultats des travaux de recherche recensés dans la littérature sont contradictoires, ce qui rend difficile la compréhension du mécanisme à l'origine de la dysfonction cardiaque chez les personnes atteintes de TSPT. De plus, les méthodologies, les populations échantillonnées et les variables de résultats étaient très variables dans la littérature. Enfin, l'un des deux articles exclus de la revue de la littérature en raison de la langue comportait une évaluation échocardiographique, et cet article aurait peut-être pu nous aider à mieux comprendre la

fonction cardiaque dans le contexte du TSPT. Il est donc nécessaire de travailler à uniformiser les études en faisant appel à des populations de patients et à des méthodologies de recherche similaires aptes à permettre des comparaisons plus exactes de l'altération de la fonction cardiaque chez les personnes atteintes de TSPT.

Conclusion

La recherche sur les intervalles de temps du cycle cardiaque et la fonction cardiaque chez les personnes ayant un TSPT en est encore à ses débuts. Néanmoins, la littérature dont on dispose tend à indiquer que les évaluations de la fonction cardiaque sont aptes à fournir de nouvelles connaissances sur les blessures de stress post-traumatique. Nous avons présenté un aperçu des travaux de recherche publiés et nous avons constaté que les différences recensées dans les liens entre le TSPT et la fonction cardiaque semblent dépendre du modèle de l'étude. Les résultats de notre étude de cas illustrent bien la façon dont l'exposition à des événements potentiellement traumatiques sur le plan psychologique altérerait la fonction cardiaque. En l'absence d'intervention de réadaptation, un stress prolongé peut aussi altérer la fonction systolique et diastolique, entraînant une augmentation du risque de maladie cardiaque et aggravant vraisemblablement les blessures de stress post-traumatique.

Remerciements

Nous tenons à remercier le participant à l'étude de cas d'avoir procédé à la collecte de données et de nous avoir fourni les données recueillies.

Financement

L'étude a été financée par une subvention du programme « Accélération » de Mitacs (n° IT25895).

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Contributions des auteurs et avis

JS, JPN : conception, curation des données, analyse formelle, méthodologie. JPN : ressources, obtention de fonds. JS,

JPN et NC : rédaction de la première version du manuscrit, relectures et révisions.

Le contenu de l'article et les points de vue qui y sont exprimés n'engagent que les auteurs; ils ne correspondent pas nécessairement à ceux du gouvernement du Canada.

Références

- Ge F, Yuan M, Li Y, Zhang W. Post-traumatic stress disorder and alterations in resting heart rate variability: a systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Investig.* 2020;17(1):9-20. <https://doi.org/10.30773/pi.2019.0112>
- Blase K, Vermetten E, Lehrer P, Gevirtz R. Neurophysiological approach by self-control of your stress-related autonomic nervous system with depression, stress and anxiety patients. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(7):3329. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073329>
- Schneider M, Schwerdtfeger A. Autonomic dysfunction in posttraumatic stress disorder indexed by heart rate variability: a meta-analysis. *Psychol Med.* 2020;50(12):1937-1948. <https://doi.org/10.1017/S003329172000207X>
- Thayer JF, Ahs F, Fredrikson M, Sollers JJ 3rd, Wager TD. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci Biobehav Rev.* 2012;36(2):747-756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Front Public Health.* 2017;5:258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Mogelvang R, Sogaard P, Pedersen SA, et al. Cardiac dysfunction assessed by echocardiographic tissue Doppler imaging is an independent predictor of mortality in the general population. *Circulation.* 2009;119(20):2679-2685. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.793471>
- Hieda M, Yoo JK, Badrov MB, et al. Reduced left ventricular diastolic function in women with posttraumatic stress disorder. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2019;317(1):R108-R112. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00002.2019>
- Vilchinsky N, Ginzburg K, Fait K, Foa EB. Cardiac-disease-induced PTSD (CDI-PTSD): a systematic review. *Clin Psychol Rev.* 2017;55:92-106. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2017.04.009>
- Cuspidi C, Meani S, Valerio C, Fusi V, Sala C, Zanchetti A. Left ventricular hypertrophy and cardiovascular risk stratification: impact and cost-effectiveness of echocardiography in recently diagnosed essential hypertensives. *J Hypertens.* 2006;24(8):1671-1677. <https://doi.org/10.1097/01.hjh.0000239305.01496.ca>
- D'Mello Y, Skoric J, Xu S, et al. Real-time cardiac beat detection and heart rate monitoring from combined seismocardiography and gyrocardiography. *Sensors (Basel).* 2019;19(16):3472. <https://doi.org/10.3390/s19163472>
- Inan OT, Migeotte PF, Park KS, et al. Ballistocardiography and seismocardiography: a review of recent advances. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2015;19(4):1414-1427. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2014.2361732>
- Taebi A, Solar BE, Bomar AJ, Sandler RH, Mansy HA. Recent advances in seismocardiography. *Vibration.* 2019;2(1):64-86. <https://doi.org/10.3390/vibration2010005>
- Vogt E, MacQuarrie D, Neary JP. Using ballistocardiography to measure cardiac performance: a brief review of its history and future significance. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2012;32(6):415-420. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2012.01150.x>
- Zanetti JM, Tavakolian K. Seismocardiography: past, present and future. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2013;2013:7004-7007. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2013.6611170>
- Singh J, Bhagaloo L, Sy E, Lavoie AJ, Dehghani P, Neary P. Novel effects of acute COVID-19 on cardiac mechanical function: two case studies. *Physiol Rep.* 2021;9(17):e14998. <https://doi.org/10.14814/phy2.14998>
- Ashouri H, Orlandic L, Inan OT. Unobtrusive estimation of cardiac contractility and stroke volume changes using ballistocardiogram measurements on a high bandwidth force plate. *Sensors (Basel).* 2016;16(6):787. <https://doi.org/10.3390/s16060787>
- Dehkordi P, Khosrow-Khavar F, Di Rienzo M, et al. Comparison of different methods for estimating cardiac timings: a comprehensive multimodal echocardiography investigation. *Front Physiol.* 2019;10:1057. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01057>
- Singh J, Bhagaloo L, Sy E, et al. Cardiac impairments in postacute COVID-19 with sustained symptoms: a review of the literature and proof of concept. *Physiol Rep.* 2022;10(16):e15430. <https://doi.org/10.14814/phy2.15430>
- Singh J, Ellingson CJ, Ellingson CA, Scott P, Neary JP. Cardiac cycle timing and contractility following acute sport-related concussion. *Res Sports Med.* 2022;1-8. <https://doi.org/10.1080/15438627.2022.2102918>
- Neary JP, MacQuarrie DS, Jamnik V, Gledhill N, Gledhill S, Busse EFG. Assessment of mechanical cardiac function in elite athletes. *Open Sports Med J.* 2011;5:26-37. <https://doi.org/10.2174/1874387001105010026>
- Singh J, Ellingson CJ, Ellingson CA, Scott P, Neary JP. Cardiac cycle timing intervals in university varsity athletes. *Eur J Sport Sci.* 2023;1-6. <https://doi.org/10.1080/17461391.2023.2178329>
- Biering-Sorensen T, Mogelvang R, de Knecht MC, Olsen FJ, Galatius S, Jensen JS. Cardiac time intervals by tissue Doppler imaging m-mode: normal values and association with established echocardiographic and invasive measures of systolic and diastolic function. *PLoS ONE.* 2016;11(4):e0153636. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153636>

23. Institut canadien de recherche et de traitement en sécurité publique (ICRTSP). Glossaire des termes : une compréhension commune des termes courants utilisés pour décrire les traumatismes psychologiques (version 2.1). Regina (Saskatchewan) : ICRTSP; 2019.
24. Biering-Sorensen T, Mogelvang R, Schnohr P, Jensen JS. Cardiac time intervals measured by tissue Doppler imaging M-mode: association with hypertension, left ventricular geometry, and future ischemic cardiovascular diseases. *J Am Heart Assoc*. 2016; 5(1). <https://doi.org/10.1161/JAHA.115.002687>
25. Tei C. New non-invasive index for combined systolic and diastolic ventricular function. *J Cardiol*. 1995; 26(2):135-136.
26. Gagnier JJ, Kienle G, Altman DG, Moher D, Sox H, Riley D. The CARE Guidelines: consensus-based clinical case reporting guideline development. *Glob Adv Health Med*. 2013;2(5):38-43. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2013.008>
27. Carleton RN, Krätzig GP, Sauer-Zavala S, et collab. Étude de la Gendarmerie royale du Canada : protocole d'enquête prospective sur les facteurs de risque et de résilience en matière de santé mentale. Promotion de la santé et prévention des maladies chroniques au Canada. 2022;42(8):360-376.
28. American Psychiatric Association (APA). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5-TR éd. Washington (DC): APA; 2022.
29. Stelnicki AM, Jamshidi L, Ricciardelli R, Carleton RN. Exposures to potentially psychologically traumatic events among nurses in Canada. *Can J Nurs Res*. 2021;53(3):277-291. <https://doi.org/10.1177/0844562120961988>
30. Ikram S, Saleem N, Latif RK. Acute left ventricle failure on induction of anesthesia: a case report of reverse stress cardiomyopathy—presentation, diagnosis and treatment. *J Anesth*. 2016;30(5):911-914. <https://doi.org/10.1007/s00540-016-2222-1>
31. Stollberger C, Sporn R, Skala K, Schneider B, Finsterer J. Assault-induced Takotsubo cardiomyopathy associated with persisting anterograde amnesia and myopathy. *Int J Legal Med*. 2010;124(5):467-470. <https://doi.org/10.1007/s00414-010-0473-1>
32. Hefner J, Csef H, Frantz S, Glatter N, Warrings B. Recurrent Tako-Tsubo cardiomyopathy (TTC) in a pre-menopausal woman: late sequelae of a traumatic event? *BMC Cardiovasc Disord*. 2015; 15:3. <https://doi.org/10.1186/1471-2261-15-3>
33. Bartoli CR, Nadar MM, Loyd GE, Kasdan ML. An atypical case of reverse Takotsubo cardiomyopathy during general anesthesia in a 30-year-old male with post-traumatic stress disorder. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2011;25(6):1116-1118. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2010.09.025>
34. Waldenborg M, Soholat M, Kahari A, Emilsson K, Frobert O. Multidisciplinary assessment of tako tsubo cardiomyopathy: a prospective case study. *BMC Cardiovasc Disord*. 2011;11:14. <https://doi.org/10.1186/1471-2261-11-14>
35. Bayer-Topilsky T, Trenerry MR, Suri R, et al. Psycho-emotional manifestations of valvular heart diseases: prospective assessment in mitral regurgitation. *Am J Med*. 2013;126(10):916-924. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2013.05.013>
36. Fudim M, Cerbin LP, Devaraj S, Ajam T, Rao SV, Kamalesh M. Post-traumatic stress disorder and heart failure in men within the Veteran Affairs Health System. *Am J Cardiol*. 2018;122(2):275-278. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2018.04.007>
37. Sawatari H, Ohkusa T, Rahamawati A, et al. Left ventricular ejection fraction predicts severity of posttraumatic stress disorder in patients with implantable cardioverter-defibrillators. *Clin Cardiol*. 2016;39(5):263-268. <https://doi.org/10.1002/clc.22521>
38. Cohen BE, Marmar CR, Neylan TC, Schiller NB, Ali S, Whooley MA. Posttraumatic stress disorder and health-related quality of life in patients with coronary heart disease: findings from the Heart and Soul Study. *Arch Gen Psychiatry*. 2009;66(11):1214-1220. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2009.149>
39. Cao X, Wu J, Gu Y, Liu X, Deng Y, Ma C. Post-traumatic stress disorder and risk factors in patients with acute myocardial infarction after emergency percutaneous coronary intervention: a longitudinal study. *Front Psychol*. 2021;12:694974. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.694974>
40. Guler E, Schmid J-P, Wiedemar L, Saner H, Schnyder U, von Kanel R. Clinical diagnosis of posttraumatic stress disorder after myocardial infarction. *Clin Cardiol*. 2009;32(3):125-129. <https://doi.org/10.1002/clc.20384>
41. Pedersen SS, Middel B, Larsen ML. Posttraumatic stress disorder in first-time myocardial infarction patients. *Heart Lung*. 2003;32(5):300-307. [https://doi.org/10.1016/s0147-9563\(03\)00097-9](https://doi.org/10.1016/s0147-9563(03)00097-9)
42. Lakusic N, Fuckar K, Mahovic D, Cerovec D, Majsec M, Stancin N. Characteristics of heart rate variability in war veterans with post-traumatic stress disorder after myocardial infarction. *Mil Med*. 2007;172(11):1190-1193. <https://doi.org/10.7205/milmed.172.11.1190>
43. Xue Y, Taub PR, Iqbal N, et al. Cardiac biomarkers, mortality, and post-traumatic stress disorder in military veterans. *Am J Cardiol*. 2012; 109(8):1215-1218. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2011.11.063>
44. İlhan E, Kaplan A, Guvenç TS, Biteker M, Karabulut E, Isikli S. Electrocardiographic features of patients with earthquake related posttraumatic stress disorder. *World J Cardiol*. 2013;5(3):60-64. <https://doi.org/10.4330/wjc.v5.i3.60>
45. Kim HG, Cheon EJ, Bai DS, Lee YH, Koo BH. Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investig*. 2018; 15(3):235-245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>

-
46. Wiggers CJ. Modern aspects of the circulation in health and disease. Philadelphia (PA): Lea & Febiger; 1915.
 47. Biering-Sørensen T, Querejeta Roca G, Hegde SM, et al. Left ventricular ejection time is an independent predictor of incident heart failure in a community-based cohort. *Eur J Heart Fail*. 2018;20(7):1106-1114. <https://doi.org/10.1002/ejhf.928>
 48. Biering-Sørensen T, Mogelvang R, Jensen JS. Prognostic value of cardiac time intervals measured by tissue Doppler imaging M-mode in the general population. *Heart*. 2015;101(12):954-960. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2014-307137>
 49. Malavazos AE, Corsi MM, Ermetici F, et al. Proinflammatory cytokines and cardiac abnormalities in uncomplicated obesity: relationship with abdominal fat deposition. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2007;17(4):294-302. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2006.01.001>
 50. Monteiro S, Marques Pinto A, Roberto MS. Job demands, coping, and impacts of occupational stress among journalists: a systematic review. *Eur J Work Organ Psychol*. 2016;25(5):751-772. <https://doi.org/10.1080/1359432X.2015.1114470>
 51. Walker A, McKune A, Ferguson S, Pyne DB, Rattray B. Chronic occupational exposures can influence the rate of PTSD and depressive disorders in first responders and military personnel. *Extrem Physiol Med*. 2016;5:8. <https://doi.org/10.1186/s13728-016-0049-x>