

Détection de syndrome du canal carpien par thermographie infrarouge

Xuan MAXEL^{1,2}, Jean-Luc BODNAR², Laurent STUBBE¹

¹ Ecole Supérieure d'Ostéopathie -Cité Descartes - 8, rue Alfred Nobel - 77420 Champs sur Marne.

² GRESPI - UFR Sciences Exactes et Naturelles- BP 1039 51687 Reims cedex 2

(Auteur correspondant : jl.bodnar@univ-reims.fr)

Résumé : L'objectif de cette étude est d'approcher les possibilités de la thermographie infrarouge dans le diagnostic du syndrome du canal carpien (SCC). Onze patients ont été étudiés. Six d'entre eux étaient atteints du syndrome du canal carpien. Les cinq autres étaient sains. L'étude consiste à exciter thermiquement les mains des patients et à analyser leur réponse thermique. Les thermogrammes obtenus montrent que les mains atteintes du syndrome du canal carpien répondent différemment des mains saines.

1. Introduction

Le syndrome du canal carpien est la compression du nerf médian dans le canal carpien [1]. Au début du syndrome, l'atteinte est révélée par des paresthésies dans les trois premiers doigts (pouce, index, majeur) de la main. Ces derniers correspondent en effet, à une zone de la face antérieure de la main innervée par le nerf médian. L'installation du syndrome est généralement progressive. Les signes apparaissent de manière nocturne et au cours d'activités manuelles. Ils disparaissent en secouant la main. Les paresthésies peuvent être reproduites par les tests cliniques de Tinel, Phalen et Phalen inversé [2-5]. L'évolution de la pathologie rend ces signes permanents. Apparaît aussi une maladresse de la main du patient avec une difficulté à tenir les objets signant l'atteinte de la partie motrice du nerf. L'électromyogramme est l'examen complémentaire prescrit lorsque l'atteinte devient invalidante. Il apporte la preuve objective médico légale en vue d'une prise en charge chirurgicale. Bien qu'invasif, il ne semble apporter aucune fiabilité diagnostique supplémentaire à l'examen clinique [6-8]. Dans les statistiques des maladies professionnelles indemnifiables le syndrome du canal carpien est le trouble musculo-squelettique le plus fréquent avec un taux de 37% en 2002 parmi les maladies professionnelles référencées [9-10]. Si dans 50% des cas le syndrome est idiopathique, les causes traumatiques et micro traumatiques liées à l'attitude professionnelles : mouvements répétés des doigts, utilisation d'appareils vibrants sont couramment mise en cause [11]. L'objectivation du syndrome de canal carpien par électromyogramme ne procurant pas plus de fiabilité que les tests cliniques et étant invasif pour le patient, il paraît intéressant d'étudier d'autres outils de diagnostic potentiels. La thermographie infrarouge est une technique de contrôle non destructif déjà largement utilisé pour l'aide au diagnostic médical [12-23]. Dans ce cadre, son principe consiste à détecter une variation anormale de la température du corps humain. Or, de nombreuses recherches montrent qu'en présence d'un syndrome du canal carpien, les contingents sympathiques issus du nerf médian sont atteints de façon précoce [24-25]. Cela engendre des troubles vasomoteurs de la main et donc potentiellement des variations locales de température [26-33]. La thermographie infrarouge semble alors un bon candidat pour l'analyse de ces variations. Par ailleurs, le syndrome du canal carpien atteint d'abord les fibres amyéliniques. Or cette atteinte n'est pas détectée par un électromyogramme, qui analyse uniquement les fibres myéliniques [34]. Un autre atout de la thermographie infrarouge pourrait être alors une détection plus précoce du syndrome du canal carpien que les méthodes traditionnellement mises en œuvre. Enfin, cette méthode de

contrôle est non destructive et permet des analyses à distance et sans contact. Pour toutes ces raisons, il nous est apparu intéressant d'approcher les possibilités de la thermographie infrarouge en matière de détection de syndrome du canal carpien. L'utilisation de la thermographie sur des patients atteints de ce syndrome a déjà été testée dans les années 90 [35-36]. Le développement technologique des caméras impose l'actualisation avec l'utilisation de caméra plus récente mais aussi des protocoles plus complets. La pratique d'un test avec stimulation par le froid et la méthode d'analyse des températures sont aussi perfectionnées dans notre protocole. Notre présentation se décompose en quatre parties : Dans un premier temps, nous présentons la démarche suivie pour choisir et recruter la cohorte de patients ayant participé à notre étude. Nous présentons ensuite le protocole expérimental suivi. Puis, nous présentons les résultats obtenus. Enfin, nous tirons les conclusions.

2. Les conditions expérimentales retenues

2.1. Choix et recrutement de la cohorte de patients ayant participé à l'étude

Nous avons contacté les professionnels de santé pouvant être en contact avec une population présentant un syndrome du canal carpien. Plusieurs patients pathologiques nous ont contactés. Tous ces patients remplissaient les critères de choix que nous nous étions fixé. Ces derniers sont les suivants : Le syndrome du canal carpien devait être diagnostiqué par électromyogramme (EMG). Les patients ne devaient avoir aucun problème de mobilité, car ces patients peuvent présenter des troubles du retour veineux lié à une hypomobilité. Les patients devaient pratiquer des activités normales. Les patients ne devaient pas souffrir d'anxiété, de dépression et n'avoir aucun problème social. Les patients ne devaient pas présenter de pathologie associée au syndrome du canal carpien, afin de n'analyser que cette pathologie. Nous avons alors listé les maladies suivantes : infections avec syndrome fébrile, maladies métaboliques, maladies hormonales, arthrite rhumatoïde, tuberculose, syringomyélie, sclérose en plaque, radiculopathie cervicale, sclérose latérale, amyotrophie cervicale, maladie de Raynaud, cancer, fracture non consolidée, traumatisme depuis moins de trois semaines. Les patients ne devaient être sous traitement médicamenteux du système nerveux central (prise de neuroleptiques ou de benzodiazépines), afin de ne pas perturber la distribution de température du corps humain. Les patients ne devaient être sous traitement médicamenteux du système nerveux périphériques (vasodilatateur, antihypertenseur) afin de ne pas perturber la réponse sympathique vasoconstrictrice et donc là aussi la température du corps humain. Les patients ne devaient pas être en cours de traitement ostéopathique, car entraînant là encore, par perturbation des systèmes nerveux centraux et périphériques, une modification de la température du corps humain. Les patientes ne devaient être en phase de menstruation, afin de ne pas modifier de façon hormonale la température du corps humain. Les patients ne devaient pas prendre d'anti-inflammatoires stéroïdiens ou non, ni par voie orale ni par infiltration de moins de trois mois, car ces traitements conduisent à une diminution des signes du syndrome du canal carpien, ce qui fausserait bien évidemment les mesures. Les patients ne devaient pas participer au moment de l'analyse, à une autre recherche biomédicale, afin de ne pas engendrer d'interférences et de faux diagnostics. Enfin, Les patients devaient accepter de se conformer aux contraintes de l'étude. A l'issue de cette phase de recrutement, nous avons retenu onze patients. Parmi ceux-ci, six patients remplissaient nos critères de choix et présentaient un syndrome du canal carpien diagnostiqué par électromyogramme. Les cinq autres étaient des sujets sains, ne présentant pas de syndrome canalaire.

2.2. Les contraintes préliminaires imposées à la cohorte sélectionnée

Avant l'examen thermographique et afin de ne pas générer d'interférences, certaines contraintes préliminaires ont été imposées à la cohorte de patients sélectionnée. Ainsi, à chaque patient a été demandé :

- De ne pas appliquer de médicament topique cutané là où doit être pratiqué l'analyse
- De ne pas avoir fumé dans les heures précédant l'examen
- De ne pas avoir fait un important repas dans les heures précédant l'examen
- De ne pas avoir bu de grandes quantités de café ou de thé dans les heures précédant l'examen
- De ne pas porter de vêtements trop serrés
- De ne pas avoir pratiqué un exercice physique intense dans les heures précédant l'examen
- De ne pas avoir bénéficié d'une physiothérapie (électrothérapie, ultrasons, thermothérapie, cryothérapie, massage et hydrothérapie), ces traitements ayant des effets thermiques cutanés qui peuvent se prolonger 4 à 6 heures après leur administration.

2.3. Le protocole expérimental suivi

2.3.1. Les conditions environnementales retenues pour l'étude

Le protocole expérimental choisi est conforme à celui retenu classiquement lors d'analyse médicale par thermographie infrarouge [12-21]. Tout d'abord, afin d'éviter des phénomènes de vasomotion, nous avons fixé la température de la pièce, lieu de l'analyse à 22°C (+/- 1°C). En effet, La température de la pièce d'examen est un élément important car influant sur l'état de la vascularisation cutanée [22]. Nous avons veillé à ce que la zone expérimentable soit soumise à un faible renouvellement d'air. Nous avons encore vérifié que son hygrométrie était maintenue en zone de confort, c'est-à-dire entre 40 % et 70%. Lors de notre étude, elle était classiquement proche de 50 %. Nous avons aussi veillé à développer notre analyse dans une pièce de dimensions suffisantes, permettant une certaine stabilité thermique. Dans notre cas d'étude, ces dernières étaient environ 10 m * 8 m * 2,5 m. Enfin, pour le confort du patient et donc pour ne pas générer de stress perturbateur thermiquement, nous l'avons placé sur un fauteuil confortable, placé à côté de la table d'analyse sur laquelle il positionnait ses deux mains, face dorsale situées contre la table.

2.3.2. Choix et mise en œuvre de la caméra de thermographie infrarouge

A ce stade de l'étude, nous avons à choisir le type de caméra de thermographie infrarouge à utiliser, ainsi que l'équipement à lui associer. Pour cela, nous avons d'abord considéré les propriétés radiatives de la peau humaine [37]. Une étude bibliographique montre que la peau humaine présente une l'émissivité maximale dans une bande de longueur d'onde située entre 7 µm et 10 µm. Cette valeur est approximativement de 0.95. Comme par ailleurs la température de l'objet analysé est proche de l'ambiante, c'est donc tout naturellement vers une caméra de thermographie « ondes longues » que nous nous sommes tournés. Par ailleurs, le phénomène thermique a étudié étant plutôt lent, il nous a semblé suffisant de mettre en œuvre une caméra à matrice de bolomètres. Ainsi c'est une caméra de type A320 series27 qui a été utilisée pour notre étude. Cette caméra de thermographie infrarouge était montée sur un pied photographique de studio, de façon à permettre un réglage facile et une bonne reproductibilité des examens. La distance caméra - main a été fixée à 90 cm. En début de journée et afin d'avoir des images de qualité radiométrique, nous avons pris soin de mettre en

marche la caméra trente minutes avant la première étude. Ainsi, lors de l'étude la caméra était en équilibre thermique avec son environnement. En ce qui concerne le champ de prise de vue, nous l'avons, comme cela se fait par exemple en radiologie, standardisé. Il a été fixé à une zone carrée de 50 cm de côté. La position de la caméra a été choisie de façon à profiter de l'isotropie d'émission de la peau. Ainsi, nous avons placé la caméra perpendiculairement à la main analysée. Le support sur lequel sont posées les mains analysées a été choisi en polyméthacrylate de méthyle (plexiglas). En effet, ce matériau est faiblement effusif thermiquement, il ne perturbera donc faiblement que la répartition de température dans les mains analysées. Par ailleurs, il permet aussi d'obtenir un fond uni ce qui permet une meilleure lecture des thermogrammes.

2.3.3. La prise en charge du patient

Le déroulement de l'expérimentation était le suivant : tout d'abord le patient était invité à prendre connaissance du protocole expérimental, puis à le signer en double exemplaire. Cette étape visait à le mettre en confiance et donc à diminuer les variations de températures potentiellement générées par un état de stress. Elle visait aussi à vérifier que le patient n'avait pas consommé d'excitant (café, thé, soda) ou fumer de tabac dans les deux heures précédant l'expérimentation. Il était ensuite invité à se laver les mains avec du savon présentant un pH neutre. L'objectif de cette phase était de supprimer une potentielle pellicule grasseuse recouvrant la main, pouvant engendrer des variations locales d'émissivité. Les mains étaient ensuite essuyées avec du papier absorbant. Bien évidemment le patient était invité après cette étape, à ne plus toucher quoi que ce soit avec ses mains. Le patient était alors invité à prendre place en salle d'analyse, à positionner ses mains sur la table d'analyse, face dorsale contre la table sur une plaque de polyméthacrylate de méthyle. Sur celle-ci étaient placés des repères pour aider à un positionnement précis et reproductible des mains. La hauteur de table était ajustée au patient afin qu'il soit confortablement installé. Cela évitait alors un stress additionnel et l'apparition éventuelle d'une douleur dorsale. La hauteur de la caméra était ensuite ajustée afin de respecter la distance caméra – main définie par le protocole. Enfin, l'enregistrement thermographique pouvait avoir lieu. Une fois les précautions préalablement citées prises, l'enregistrement pouvait débuter. Le protocole expérimental suivi était alors le suivant : immédiatement après le lavage et le séchage des mains, le patient était invité à positionner ses mains sur la plaque de polyméthacrylate de méthyle. Cette phase initiale consistait en une étape d'apprentissage qui permettait d'apprendre les gestes à suivre lors de l'analyse. Un premier thermogramme nommé t_0 est acquis à ce stade. Cette phase, puisque montrant le déroulement de l'analyse, avait aussi pour objectif de rassurer le patient. Ensuite, le patient était invité à placer la face palmaire de ses deux mains sur des blocs de glace pendant 60 secondes. Cette phase d'analyse avait pour objectif de provoquer une stimulation nerveuse sympathique. Ce type d'excitation a déjà été utilisé par Nabel et Al [38] pour étudier la vasomotion des artères coronaires. Elle nous a semblé d'un emploi possible pour notre étude. Après cette phase de stimulation le patient était invité à replacer ses mains sur la table d'analyse. Une succession de prise de vue infrarouges a alors été développée. Ces dernières étaient espacées d'environ 30 secondes. La première sera notée t_1 dans la suite de notre article, la seconde t_2 et ainsi de suite jusqu'à t_{22} pour l'analyse la plus longue.

3. Les résultats expérimentaux obtenus

Dans un premier temps, nous avons étudié une cohorte de patients sains. Ils étaient au nombre de cinq. Etudions ici un patient représentatif de ce groupe. Huit thermogrammes ont été réalisés chez ce patient. Le contact avec les blocs de glaces a engendré une baisse de la

température de la main en contact avec la glace. Ils montrent ensuite un réchauffement progressif de ces zones, mais toujours de façon symétrique pour les deux mains. La figure 1, présente le thermogramme à 180 s après contact avec les blocs de glace. Il fait apparaître des signatures thermiques assez symétriques. Pour les deux mains les zones hypothénar sont plus chaudes que les zones thénar. Il n'y avait plus d'évolution thermique significative après ce thermogramme.



Figure 1 : Thermogrammes obtenus lors de l'étude d'un sujet sain, 180 s après contact avec les blocs de glace

240 secondes après contact avec les blocs de glaces l'ensemble des patients sains montre clairement et comme précédemment une répartition symétrique de la température des deux mains du patient. La deuxième série d'étude concernait une cohorte de patients atteints du syndrome du canal carpien. Ils étaient au nombre de six. Sur la figure 2, nous présentons un exemple de résultat obtenu dans ce cadre. Le patient analysé présentait un syndrome du canal carpien au niveau de sa main droite. Il nous a indiqué souffrir de paresthésie nocturne au niveau du pouce et de l'index de la main droite. Ce thermogramme obtenu 240 s après excitation montre que le réchauffement de l'extrémité du pouce et de l'index de la main droite se fait plus rapidement que celui des autres doigts de la main. Ce résultat est intéressant, car il semble montrer comme attendu, que la présence d'un syndrome de canal carpien peut engendrer une vasomotion perturbée des doigts atteints par cette pathologie.



Figure 2 : Thermogrammes obtenus lors de l'étude d'un sujet atteint d'un syndrome de canal carpien au niveau de deux doigts de la main droite 240 s après contact avec les blocs de glace

Après avoir présenté les résultats obtenus lors de l'étude d'un patient atteint d'un syndrome du canal carpien localisé sur deux doigts, du fait de la variation anatomique du nerf médian, nous avons voulu présenter un second cas de syndrome présentant une autre variation anatomique. Celle-ci est certainement la plus courante et touche les trois premiers doigts de la main (pouce, index, majeur). La figure 3 montre alors clairement, 90 secondes après excitation, un comportement thermique différent des trois doigts de la main droite atteints par le syndrome du canal carpien (on notera un comportement thermique anormal de l'annulaire gauche. Toutefois, celui-ci est probablement dû à la présence d'une alliance perturbant la vascularisation du doigt). Ce résultat confirme le précédent. Il montre aussi, que la technique infrarouge est sensible à la variation anatomique du nerf médian.



Figure 3 : Thermogramme obtenus lors de l'étude d'un sujet atteint d'un syndrome de canal carpien au niveau de trois doigts de la main droite, 90 s après contact avec les blocs de glace

L'étude suivante a consisté à essayer de trouver un critère quantitatif pour différencier les mains atteintes du syndrome du canal carpien des mains saines. Pour cela nous avons pour chaque main étudiée, calculé une température de référence. Cette dernière est égale à la somme des températures des extrémités des pouces et index à laquelle est soustraite la somme de la température des extrémités de l'annulaire et auriculaire. Dans le cas d'une main saine cette différence devrait tendre vers zéro du fait de la répartition homogène de la température de la main. Dans le cas d'une main pathologique, cette différence devrait s'éloigner de zéro du fait du comportement thermiquement anormal des doigts atteints. Les résultats obtenus sur les onze patients analysés sont présentés sur le tableau 1. Ils montrent, comme attendu, que les variations de température sont faibles pour des mains saines et plus importantes pour des mains pathologiques. Ils montrent aussi que cette variation de température peut être positive ou négative. Cela correspondrait à une vasoconstriction ou à une vasodilatation des artérioles de la main.

Patient	ΔT main droite	ΔT main gauche	Patient	ΔT main droite	ΔT main gauche
Sain 1	0,9	- 0,4	SCC 1 droite	<u>16,2</u>	0
Sain 2	-0,8	-0,1	SCC 2 droite	<u>3,6</u>	0,8
Sain 3	0,6	0,2	SCC 3 droite	<u>13,3</u>	0,1
Sain 4	-0,1	0	SCC 4 droite	<u>9,3</u>	1,8
Sain 5	0	-1,5	SCC 5 bilatéral	<u>7,8</u>	<u>13,9</u>
			SCC 6 bilatéral	<u>3,8</u>	<u>-12,6</u>

Tableau 1 : Différence de température caractéristique mesurée pour les deux mains des patients sains et pathologiques étudiés.

4. Conclusion

Dans ce travail, nous avons approché les possibilités de la thermographie infrarouge stimulées pour la détection du syndrome du canal carpien. Nous avons d'abord indiqué, suite à une étude bibliographique, qu'un syndrome du canal carpien pouvait entraîner une vasomotion des artérioles de la main. En effet, les contingents sympathiques véhiculés par le nerf médian ne possèdent pas de gaine de myéline, les rendant plus sensibles à la compression. Cette dernière modifie alors le seuil d'excitabilité de base de ces fibres nerveuses et donc les phénomènes de circulation sanguine. Or une modification de cette circulation peut provoquer une variation de la température de la main, ce qui est alors détectable par thermographie infrarouge. Par ailleurs, les fibres sensitives et motrices du nerf

étant entourées d'une gaine de myéline, elles seront touchées plus tardivement que les fibres sympathiques. La thermographie infrarouge pourrait alors permettre une détection précoce de la pathologie du canal carpien. Par ailleurs, la méthode conventionnelle (électromyogramme) n'est reconnue fiable qu'à 82 %. Comme par ailleurs elle est invasive, il est intéressant d'essayer de trouver un mode de diagnostic non invasif et pourquoi pas plus fiable. La thermographie peut alors être un candidat. Nous avons ensuite proposé un protocole expérimental visant à être le plus rigoureux et reproductible possible. Nous avons alors expliqué le choix d'une caméra de thermographie infrarouge ondes longues. Dans une quatrième étape, nous avons alors montré que les doigts atteints d'un syndrome du canal carpien présentaient un comportement thermique différent, ce qui permet la détection de la pathologie. A ce stade, nous avons aussi montré que la méthode permettait la détection de variation anatomique sur la distribution du nerf médian. Dans un cinquième temps, nous avons proposé une quantification de la méthode de détection. Pour cela nous avons défini une variation de température caractéristique et montrer qu'elle était proche de zéro pour les sujets sains et bien plus importante pour les sujets pathologiques. Cette étude menée sur une cohorte de patient restreinte demande maintenant à être généralisée. Par ailleurs la robustesse de cette dernière devra être étudiée. Il serait aussi intéressant de comprendre pourquoi la signature thermique du SCC a été le plus souvent positive mais aussi négative dans un cas particulier. Il y aurait par ailleurs à étudier la cause de des cinétiques de réactions thermiques différentes d'un patient à un autre. Il y aurait encore à optimiser le protocole expérimental (durée excitation, type d'excitation, durée d'analyse, type de post traitement, ...). Enfin, il y aurait à étudier l'influence et les pertinences des critères d'exclusion retenus au cours de cette étude. Des études allant dans ce sens sont en cours.

Références

- [1] Kernbaum S. Dictionnaire de médecine flammarion. Paris : Flammarion Médecine-Sciences;2008.
- [2] El Miedany Y, Ashour S, Youssef S, Mehanna A, Meki F. Clinical diagnosis of carpal tunnel syndrome: Old tests–new concepts, *Joint Bone Spine*, Volume 75, Issue 4, July 2008, Pages 451-457, ISSN 1297-319X, 10.1016/j.jbspin.2007.09.014.
- [3] Durkan J. A new diagnostic test for carpal tunnel syndrome. *J Bone Joint Surg Am* 1991;13:535-8
- [4] Tinel J. Le signe du « fourmillement » dans les lésions des nerfs périphériques. *Press Med* 1915 ;23 :388.
- [5] Phalen GS. Reflections on 21 year'experience with the carpal tunnel syndrome. *JAMA* 1970 ;212 :1365-7.
- [6] Szabo RM, Slater Jr RR, Farver TB, Breger Stanton D, K. Sharman WK. The Value of Diagnostic Testing in Carpal Tunnel Syndrome, *The Journal of Hand Surgery*, Volume 24, Issue 4, 1999, Pages 704-714, ISSN 0363-5023, 10.1053/jhsu.1999.0704.
- [7] Redmond MD, Rivner MH. False positive electrodiagnostic tests in carpal tunnel syndrome *Muscle Nerve*, 11 (1988), pp. 511–518.
- [8] J.C. White, S.R. Hansen, R.K. Johnson, A comparison of EMG procedures in the carpal tunnel syndrome with clinical-EMG correlations *Muscle Nerve*, 11 (1988), pp. 1177–1182.
- [9] Haute Autorité de Santé. Chirurgie du syndrome du canal carpien : approche multidimensionnelle pour une décision pertinente. Décembre 2011.
- [10] Institut National de la Recherche Scientifique. Régime général Tableau 57 [document électronique] <http://www.inrs-mp.fr>. Dernière mise à jour 17/10/2011.
- [11] Collège Français des Enseignants en Rhumatologie. Précis de rhumatologie. Paris : Masson ;2002.
- [12] Baillie AJ, Biagioni PA, Forysth A, Garioch JJ, and McPherson D. Thermographic assessment of patch-test responses. *Br J Dermatol* 122: 351-360, 1990.
- [13] Bharara M, Cobb JE, and Claremont DJ. Thermography and thermometry in the assessment of diabetic neuropathic foot: a case for furthering the role of thermal techniques. *Int J Low Extrem Wounds* 5: 250-260, 2006.
- [14] Bitar D, Goubar A and Desenclos JC. International travels and fever screening during epidemics : a literature review on the effectiveness and potential use of non-contact infrared thermometers. *Eurosurveillance*, 14 (6) : 1-5.

- [15] Buzug TM, Schumann S, Pfaffmann L, Reinhold U, and Ruhlmann J. Functional Infrared Imaging for Skin-Cancer Screening. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 1: 2766-2769, 2006.
- [16] Forestier J, Kuerth A, Niederstrasser E, Krautwald E, Pauli R, Paulat R, Eweleit M, Riemekasten G, and Worm M. A cold-response index for the assessment of Raynaud's phenomenon. *J Dermatol Sci* 45: 113-120, 2007.
- [17] Hartmann M, Kunze J, and Friedel S. Telethermography in the diagnostics and management of malignant melanomas. *J Dermatol Surg Oncol* 7: 213-218, 1981.
- [18] Head JF and Elliott RL. Infrared imaging: making progress in fulfilling its medical promise. *IEEE Eng Med Biol Mag* 21: 80-85, 2002.
- [19] Renkielska A, Nowakowski A, Kaczmarek M and Ruminski J. Burn depths evaluation based on active dynamic IR thermal imaging--a preliminary study. *Burns* 32: 867-875, 2006.
- [20] Ring EF, Engel JM, and Page-Thomas DP. Thermologic methods in clinical pharmacology-skin temperature measurement in drug trials. *Int J Clin Pharmacol Ther Toxicol* 22: 20-24, 1984.
- [21] Siniewicz K, Wiecek B, Baszczynski J, Zwolenik S. The importance of thermovision in children with orthostatic cardiovascular disorders before and after directed physical exercises, a casebook of infrared imaging in clinical medicine, *medpress* 2003, pp 87 - 93
- [22] Ming Z, Zaproudina N, Siivola J, Nousiainen U, Pietikainen S. Sympathetic pathology evidenced by hand thermal anomalies in carpal tunnel syndrome, *Pathophysiology*, Volume 12, Issue 2, September 2005, Pages 137-141, ISSN 0928-4680, 10.1016/j.pathophys.2005.05.002.
- [23] Tchou S, Costich JF, Burgess RC, Wexler CE. Thermographic observations in unilateral carpal tunnel syndrome: Report of 61 cases, *The Journal of Hand Surgery*, Volume 17, Issue 4, July 1992, Pages 631-637, ISSN 0363-5023, 10.1016/0363-5023(92)90306-A.
- [24] Ming Z, Siivola J, Pietikainen S, Närhi M, Hänninen O. Postoperative relieve of abnormal vasoregulation in carpal tunnel syndrome, *Clinical Neurology and Neurosurgery*, Volume 109, Issue 5, June 2007, Pages 413-417, ISSN 0303-8467, 10.1016/j.clineuro.2007.02.014.
- [25] Lang E, Claus D, Neundörfer B, Handwerker HO. Parameters of thick and thin nerve-fiber functions as predictors of pain in carpal tunnel syndrome, *Pain*, Volume 60, Issue 3, March 1995, Pages 295-302, ISSN 0304-3959, 10.1016/0304-3959(94)00131-W
- [26] Özden Şener H, Taşçılar NF, Balaban H, Selçuki D. Sympathetic skin response in carpal tunnel syndrome, *Clinical Neurophysiology*, Volume 111, Issue 8, 1 August 2000, Pages 1395-1399, ISSN 1388-2457, 10.1016/S1388-2457(00)00333-3.
- [27] Gautherie M, Jesel M, Daemgen F, Meyer S. Troubles vasomoteurs des mains et syndrome du canal carpien, *Annales de Chirurgie de la Main et du Membre Supérieur*, Volume 14, Issue 2, 1995, Pages 85-95, ISSN 1153-2424, 10.1016/S0753-9053(05)80394-1.
- [28] Léger O, Lavallé F. Révélation d'un syndrome du canal carpien par ulcération digitale secondaire à un vasospasme artériel, *Chirurgie de la Main*, Volume 24, Issue 1, February 2005, Pages 39-41, ISSN 1297-3203, 10.1016/j.main.2004.11.007.
- [29] Tortora, G.J., Grabowski, S.R. (2001). *Principes d'anatomie et de physiologie. Adaptation française* Andrée Imbach et André Ferron. *Alternative Therapies*, Janvier, Vol 2, N°1.
- [30] Malpas, S.C. (1998). The rhythmicity of sympathetic nerve activity. *Progress in Neurobiology*, Volume 56, Issue 1, Septembre 1998, p.65-96.
- [31] Fujii, K., Heistad, D.D., Faraci, F.M. (1990). Vasomotion of basilar arteries in vivo. *Am J Physiol.*, Juin, 258(6 Pt 2), p.H1829-34..
- [32] Bouskela, E., Grampp, W. (1992). Spontaneous vasomotion in hamster cheek pouch arterioles in varying experimental conditions. *Am J physiol.*, Février, 262(2 Pt2), p.H478-85,
- [33] Shahani B, J-Halperin J, Boulu P, Cohen J. Sympathetic skin response-a method of assessing unmyelinated axon dysfunction in peripheral neuropathies *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 1984;47:536-542.
- [34] Guyton, A.C. (1991). *Textbook of Medical Physiology*. 8ème édition. USA, Philadelphia W.B. Saunders Company.
- [35] Ammer, K., Engelbirt, B., Melnizky, P., Schartclmiillcr, T.. The Thermal Image of Patients Sufferin g from Carpal Tunnel Syndrome with a Distal Latency Higher Than 6.0 msec. *Thermology international*, 9(1), 1999, 15-19.
- [36] Pascoe D., Purohit R., Shanley L.A., and Herrick R.T. Pre and post-operative thermographic evaluations of CTS. In *The Thermal Image in Medicine and Biology*. Ammer K. and Ring E.E.J. (eds), Wein, Uhlen-Verlag, pp. 188-190, 1995.
- [37] R. Bowling Barnes. Infrared-radiant energy provides new concepts and instrumentation for medical diagnosis, *Science* 24 May 1963: 870-877.
- [38] Nabel EJ, Ganz P, Gordon JB, Alexander RW, Selwyn AP. Dilation of normal and constriction of arteriosclerotic coronary arteries caused by the cold pressor test. *Circulation* 1988;77:43-52.