



Università degli Studi di Firenze
Scuola di Ingegneria

Corso di laurea in Ingegneria **Elettronica e Telecomunicazioni**
Anno Accademico **2021-2022**
Corso di **Biomeccanica**

Titolo

Termografia applicata alla Chirurgia Plastica e Cosmetica

Studenti:
Petra Ermini

INDICE

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE

2. OBIETTIVI

3. COME FUNZIONA LA TERMOGRAFIA

4. TERMOGRAFIA APPLICATA ALLA CHIRURGIA PLASTICA
TERMOGRAFIA APPLICATA ALLA CHIRURGIA ESTETICA

5. DISCUSSIONE

6. CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

INTRODUZIONE

La TERMOGRAFIA è una tecnica di telerilevamento basata sull'acquisizione di immagini nel campo dell'infrarosso. Più precisamente questa tecnica permette di misurare l'energia nell'infrarosso emessa da corpi a temperatura diversa dallo zero assoluto mediante opportuni sensori, e di correlarla alla temperatura superficiale del corpo stesso. In altre parole, è possibile determinare la temperatura di una superficie attraverso la misura della radiazione infrarossa che emette. La procedura termina con la conversione dell'energia emessa in segnale video ed è perciò possibile risalire alla mappa termica della "scena" inquadrata. Un grande vantaggio di questa tecnica è che non c'è necessità di contatto permettendo all'individuo che sta eseguendo il test di restare ad una certa distanza evitando possibili rischi.

Nel corso degli anni sono stati messi a punto strumenti molto sensibili e affidabili in termini di risoluzione e sensibilità. Questo ha implementato l'utilizzo delle termocamere in più settori di cui siderurgia, edilizia, veterinaria, elettronica e medicina sono alcuni esempi.

In ambito medico viene sfruttata la termografia in quanto l'aumento della temperatura corporea provoca una maggiore quantità di radiazioni emesse. Viene considerata una tecnica non invasiva, poiché la termocamera non produce alcuna radiazione, e consente di evidenziare e misurare le temperature della superficie corporea sfruttando l'energia calorica emessa dall'organismo attraverso la cute. La termografia è applicabile per la diagnosi di tutte quelle patologie che portano ad una disomogeneità della distribuzione superficiale di temperatura.

Alcune applicazioni mediche sono: il rilevamento di tumori al seno, il rilevamento di tumori alla pelle, le ustioni, la sindrome del tunnel carpale, il rilevamento di neoplasie e la chirurgia cardiovascolare.

Sono stati inoltre eseguiti degli studi sulla termografia applicata nella chirurgia plastica e nella cosmetica.

OBIETTIVI

L'obiettivo dell'elaborato è quello di esaminare la temperatura superficiale corporea attraverso le termocamere con lo scopo di valutare la termografia in ambito medico, in particolar modo nel settore della chirurgia plastica.

Sono stati esaminati vari articoli e studi pubblicati nel corso degli anni in modo da avere una visione più ampia. In particolar modo sono stati presi in considerazione studi riguardanti la pianificazione preoperatoria dei perforatori per lembi liberi, il monitoraggio post-operatorio della ricostruzione del lembo, la valutazione delle ferite da ustioni e le complicanze della lipoaddominoplastica.

COME FUNZIONA LA TERMOGRAFIA

La teoria della termografia si basa sui fondamenti di trasmissione del calore, ovvero dell'energia termica. Questa può essere trasmessa per conduzione, per convezione e per irraggiamento.

1. La conduzione è un processo mediante il quale il calore fluisce da una regione a temperatura maggiore verso una regione a temperatura minore tramite un contatto. La legge alla base della conduzione del calore è la legge di Fourier che afferma che il calore è direttamente proporzionale alla conducibilità termica e alla differenza di temperatura tra le due superfici ed è invece inversamente proporzionale allo spessore dell'oggetto. Il segno negativo in (1) sta a significare che il flusso di calore avviene nel senso in cui la temperatura diminuisce, dalla regione a temperatura maggiore a quella a temperatura minore.

$$dQ = -k \frac{dT}{dn} dS dt$$

Q = calore

K = coefficiente di conducibilità termica che dipende dal materiale

dT = variazione di temperatura

dt = variazione di tempo

S = superficie

L = lunghezza

2. La convezione è un processo di trasporto di energia che avviene mediante l'azione combinata della conduzione, dell'accumulo di energia e del mescolamento. Si tratta del più importante meccanismo di scambio di energia tra una superficie solida ed un liquido o un gas.
3. L'irraggiamento è un processo mediante il quale il calore fluisce da un corpo a temperatura maggiore verso un corpo a temperatura minore, quando i due corpi

non sono a contatto, anche se tra di essi c'è il vuoto. L'energia trasmessa tramite irraggiamento prende il nome di calore irraggiato. Il potere emissivo del corpo ε (energia emessa per unità di tempo e unità di superficie) è dato dalla legge di Stefan-Boltzman

$$\varepsilon = \sigma e T^4$$

σ = costante universale di Stefan-Boltzman

T = temperatura assoluta

e = emissività che può variare tra 0 e 1

Quando $e = 1$ si parla di corpo nero, ovvero un oggetto ideale che assorbe il 100% delle radiazioni che lo colpiscono. La temperatura di un corpo aumenta o diminuisce a seconda della differenza tra energia irradiata e assorbita.

Le radiazioni rilevate dalla termocamera sono quelle emesse dell'oggetto, dalle zone limitrofe ad esso, quelle che lo attraversano e che vengono riflesse su quest'ultimo. La radiazione rilevata dalla termocamera dipende sia dalla temperatura dell'oggetto in considerazione, sia dalla sua emissività, ma varia anche in base all'assorbimento atmosferico.

TERMOGRAFIA APPLICATA A CHIRURGIA PLASTICA ED ESTETICA

In chirurgia plastica è stata dimostrata l'utilità delle applicazioni cliniche dell'IRT. Queste includono la pianificazione preoperatoria di perforatori per lembi liberi, il monitoraggio postoperatorio dei lembi liberi e l'uso di IRT nell'analisi della profondità delle ustioni. In ugual modo sono stati effettuati studi in altri ambiti dove però la termografia non ha dato i risultati sperati come nello studio della sindrome del tunnel carpale.

La ricostruzione del lembo è molto utilizzata in chirurgia plastica in vari ambiti, ad esempio nella ricostruzione del seno e nei grandi ustionati.

Al fine di trattare adeguatamente questo argomento è necessario approfondire alcuni argomenti: un lembo è una porzione di tessuto che viene trasferita da un sito donatore ad un sito ricevente mantenendo il peduncolo vascolare, in altre parole senza che ci sia perdita di vascolarizzazione; i lembi pedunculati sono lembi che mantengono la connessione vascolare con il sito donatore; nei lembi liberi le connessioni vascolari vengono interrotte e poi ricostruite con tecniche microchirurgiche; i lembi perforanti pedunculati sono irrorati da un vaso che si dirige al sottocute perpendicolarmente.

1- Pianificazione preoperatoria di perforatori per lembi liberi

Il problema fondamentale durante la fase preoperatoria è quello di selezionare il perforatore più adatto per sottoporre a perfusione il lembo. La tecnica attualmente usata si basa sul fatto che i perforatori più potenti trasportano il calore dal tessuto profondo alla superficie della pelle. Viene raffreddata la superficie della pelle e viene osservata la velocità del ritorno del punto caldo: i perforatori più resistenti saranno i punti caldi di ritorno più rapidi.

Sono presenti studi che dimostrano l'efficienza della termografia dinamica a infrarossi in questo ambito, a discapito di altre tecnologie come la tomografia che espone i pazienti a radiazioni.

Theuvenet nel 1986 ha utilizzato la termocamera digitale a infrarossi (DIRT) in 4 cadaveri per la marcatura di perforatori in varie aree che potevano essere raccolti come lembi liberi. La pelle e il sottocute sono stati sezionati dalla fascia e dal muscolo sottostanti; sono stati individuati 31 dei 36 perforatori rilevati da DIRT. Ha inoltre studiato il fenomeno in 16 volontari viventi che hanno fatto analizzare i loro perforatori dopo il raffreddamento, il dissanguamento e l'uso del laccio emostatico facendo una

valutazione termografica delle arterie perforanti. In questo caso sono stati rilevati dei punti caldi dopo il rilascio del laccio emostatico mettendo a punto un metodo di screening preoperatorio per lembi fascio-cutanei e muscolo-cutanei.

Altri studi utilizzano la termocamera digitale ad infrarossi per il rilevamento di perforatori nei lembi liberi addominali.

Uno studio di rilevante importanza è stato effettuato da Chijiwa nel 2000 che ha utilizzato la termografia per creare una mappa facciale dei lembi perforanti per consentire la pianificazione dei lembi del viso; questo studio è stato effettuato su 12 individui. Nel 2009 De Weerd ha pubblicato un altro studio rilevante attraverso l'analisi di 23 pazienti per la ricostruzione di lembi liberi, ha infatti posto il problema in termini di velocità e del modello di riscaldamento dei punti caldi al fine di rappresentare la qualità dei perforatori. Questo è stato di particolare utilità poiché un punto caldo che produce un rapido riscaldamento è preferibile per la ricostruzione del lembo. Tenorio (2011) ha invece condotto uno studio confrontando due tecnologie diverse: termocamera digitale a infrarossi e Doppler portatile (ecografo a ultrasuoni). Il suddetto studio è stato effettuato su 16 pazienti con dissezione chirurgica ed aveva lo scopo di confermare la posizione del perforatore. È stato dimostrato che Doppler localizzava i perforatori a livello più profondo, mentre la termografia ha rilevato la loro posizione in punti più superficiali (sotto la pelle) evidenziando che le due tecniche potevano essere complementari. In fig.1 possiamo notare come una fotografia termografica digitale (B) mostri la concordanza con la tomografia computerizzata (A) sulla posizione dei perforatori.

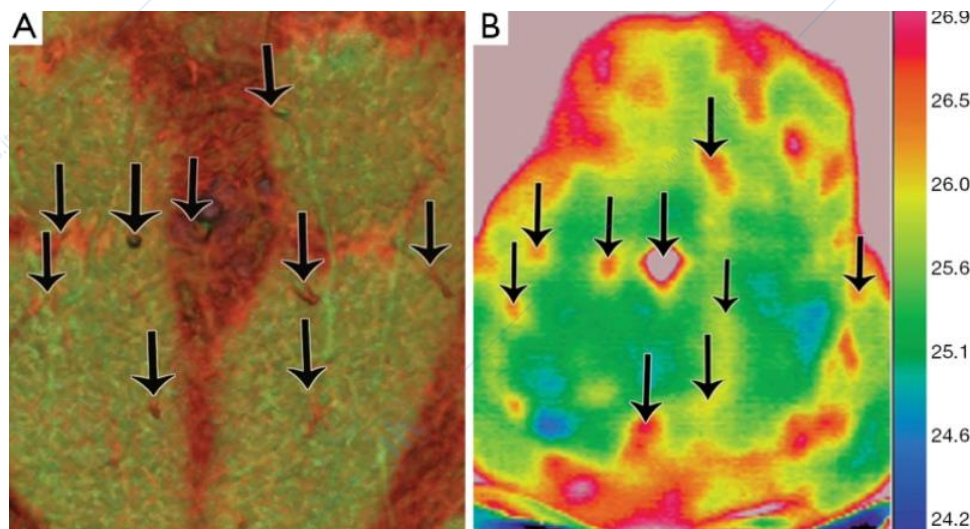


Fig. 1

Chubb D, Rozen WM, Whitaker IS, Ashton MW. Immagini in chirurgia plastica: fotografia termografica digitale ("thermal imaging") per la mappatura preoperatoria del perforatore. *Ann Plast Surg* 2011

2- Monitoraggio postoperatorio della ricostruzione del lembo

Nel monitoraggio postoperatorio della ricostruzione del lembo è di estrema importanza valutare la perfusione del lembo poiché i rischi di riperfusione, ossia un danno cellulare e microvascolare che si verifica quando il tessuto torna ad essere irrorato dalla circolazione sanguigna dopo un periodo di ischemia, posso essere un grande complicazione.

In questi studi è stata usata termografia dinamica a infrarossi e sono stati effettuati su animali da laboratorio.

Tenorio nel 2009, analizzando 20 lembi dell'arteria epigastrica inferiore superficiale dei ratti, hanno evidenziato che dopo aver sollevato un lembo pedunculato e legato alla circolazione arteriosa la termografia ha rilevato un cambiamento della temperatura con una graduale scomparsa del punto caldo, ovvero il peduncolo, in tempi minori rispetto ad un'evidenza macroscopica. Dal punto di vista dell'occlusione venosa c'è stato invece un piccolo aumento di temperatura, seguito da una costante diminuzione. I segni della congestione venosa erano rilevabili da DIRT.

Un altro studio ha portato all'uso di DIRT per valutare la sopravvivenza e la perfusione del lembo e per valutare l'uso di farmaci vasodilatatori da Wolff nel 1995 e Shejbal nel 2011. Da questi studi emerse che DIRT era accurato nel determinare la perfusione del lembo. In fig.2 si può osservare come le immagini termiche a infrarossi mostrino il miglioramento della perfusione del sangue in un lembo libero al primo, terzo e sesto giorno dopo l'operazione.

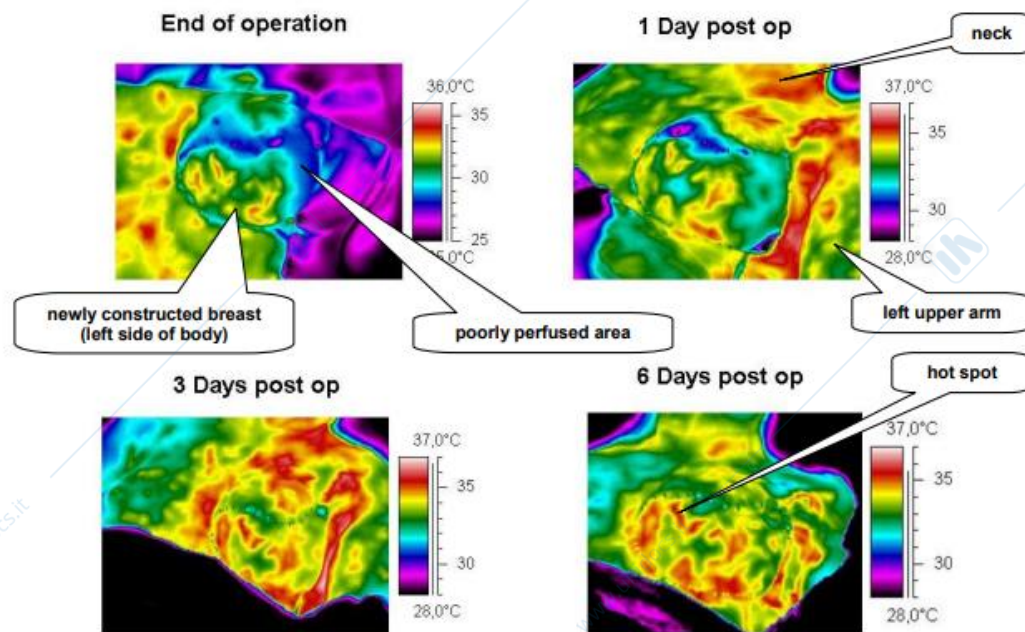


Fig.2

*James B. Mercer, Louis de Weerd, Åshild Odden Miland and Sven Weum
Cardiovascular Research Group, Faculty of Health Sciences, University of Tromsø,
Norway,
Department of Plastic Surgery and Hand Surgery and Department of Radiology,
University Hospital North Norway*

3- Valutazione delle ustioni

Un'ustione è una lesione alla pelle causata da: elettricità, prodotti chimici, attrito o radiazione.

Un aspetto di vitale importanza è la valutazione della gravità e della profondità delle ustioni, nonché il potenziale di guarigione, al fine di determinare la necessità di un intervento chirurgico in pazienti con questa condizione. Nel corso degli anni l'IRT è migliorata ed è considerata una tecnica promettente per la valutazione nei centri ustionati anche per la sua non invasività, sebbene siano presenti studi e risultati discordanti.

Primo di tutti fu Hackett nel 1974. Nel suo studio emerse che la diminuzione del flusso sanguigno in ustioni dermiche può essere identificata dalla termografia e che in ustioni

meno gravi la perfusione era principalmente intatta ma a causa della perdita dello stato epidermico, l'iperemia esistente era rilevabile in superficie misurando quindi una temperatura più elevata rispetto alla pelle sana.

Considerando che l'acume clinico inerente alla profondità delle ustioni è accurato solo al 60-75%, diversi autori hanno discusso l'efficacia della termografia in questo settore. Zhu nel 1999 evidenziò, tramite uno studio con 30 pazienti, che la termografia poteva essere un metodo efficace di misurazione della profondità di combustione purché la differenza di calore fosse misurata prendendo come riferimento una parte normale simmetrica del corpo.

Successivamente Renkielska, nel 2006, utilizzò DIRT per l'analisi della profondità di combustione al fine di determinare il trattamento più adeguato per il paziente. Fece lo studio su 23 ferite e dimostrò l'efficacia della termografia per la discriminazione delle ferite da ustione e la pianificazione del trattamento.

Nel 2008 Monstrey esaminò le varie tecniche per la valutazione della profondità di combustione e concluse che l'imaging laser Doppler aveva prestazioni migliori.

Nel corso degli anni le apparecchiature hanno subito rinnovamenti e miglioramenti, inizialmente erano ingombranti e a bassa risoluzione. Questo ostacolava l'uso della termografia nella pratica clinica, oggi sono invece più piccoli, più veloci e più convenienti.

Studi più recenti hanno riportato risultati positivi.

Nel 2016, 5 autori (Mariëlle E H Jaspers, Ilse Maltha, John H G M Klaessens, Henrica C W de Vet, Rudolf M Verdaasdonk, Paul P M van Zuijlen) hanno pubblicato uno studio con l'obiettivo di valutare le proprietà clinimetriche (l'affidabilità e la validità) delle termocamere per misurare il potenziale di guarigione delle ustioni prendendo in considerazione 50 ferite. Per valutare l'affidabilità, due osservatori hanno fatto la misurazione, dopo di che i video termografici sono stati analizzati trasversalmente e per determinare l'affidabilità è stata usata la differenza di temperatura tra pelle bruciata e non bruciata di entrambe le analisi. Per valutare invece la validità, i risultati ottenuti con la termocamera sono stati confrontati con quelli del Laser Doppler Imaging. A seguito di un'analisi statistica, i 5 autori hanno quindi concluso che la termografia è una tecnica affidabile e valida nella valutazione del potenziale di guarigione della ferita da ustione.

Nel 2019 è stato pubblicato un ulteriore studio da Wiley Periodicals sulla validità della termografia per misurare il potenziale di guarigione delle ferite da ustione. In questo studio sono stati coinvolti 32 pazienti con ferite da ustione tra 2 e 5 giorni dopo la

combustione. Le ferite sono state poi suddivise in: ferite con una guarigione entro 14 giorni e che quindi potevano essere trasferiti in centri non specializzati per il trattamento conservativo; e ferite con una guarigione di circa 21 giorni che potevano essere trattate precocemente con chirurgia. Tutta la ricerca è articolata sul fatto che la valutazione dell'ustione si basa sull'imaging della perfusione cutanea. L'entità di una lesione è correlata alla quantità di flusso sanguigno microvascolare rimanente e quindi riflette il potenziale di guarigione della ferita. È stato utilizzato il Laser Doppler Imaging come standard di riferimento e lo studio ha dimostrato una buona validità delle termocamere per la valutazione del potenziale di guarigione. In fig.3 si può osservare la procedura per la validità dello studio.

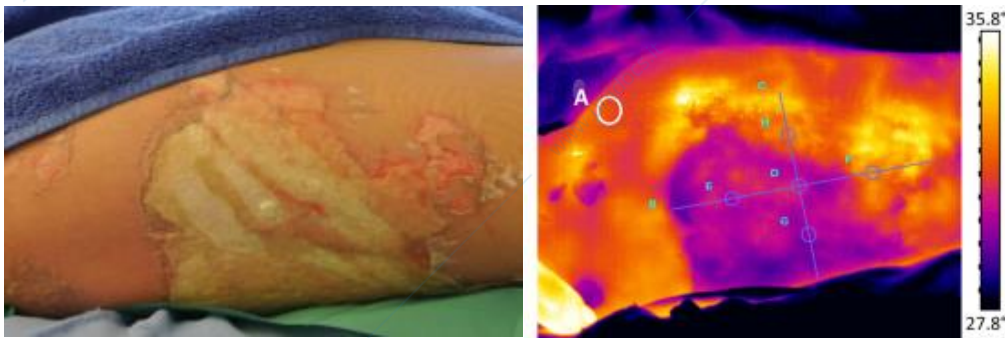


fig.3

Fotografia normale di una ferita da ustione eterogenea: HP >21 giorni nel centro della ferita e HP

<14 giorni nell'intorno. La seconda immagine è un'immagine termografica contenente cinque aree di misurazione e l'area di riferimento costituita da pelle non bruciata situata ± 5 centimetro dalla ferita da ustione.

Mariëlle E. H. Jaspers M.D., Ilse Maltha, John H. G.M. Klaessens, Henrica C. W. de Vet, Rudolf M. Verdaasdonk, Paul P.M. van Zuijlen M.D

J. di Ottica Biomedica, 21(9), 096006 (2016)

4- Valutazione delle complicanze della Lipoaddominoplastica

La lipoaddominoplastica è l'intervento di chirurgia estetica che permette di abbinare una lipoaspirazione dell'addome con l'asportazione della cute in eccesso, il riposizionamento dell'ombelico, la sutura dei muscoli retti dell'addome e una lipoaspirazione dei fianchi in un'unica soluzione.

L'addominoplastica è una delle procedure di chirurgia estetica più eseguite nel mondo. La lipoaddominoplastica è stata descritta per la prima volta nel 2001 da Saldanha et. al. Usando i principi della liposuzione fusi con i principi dell'addominoplastica tenendo di conto la conservazione del lembo addominale e dei vasi perforanti con una minore compromissione del sistema nervoso e linfatico. Questa tecnica ha ridotto l'incidenza delle complicanze. Tuttavia, le diagnosi di queste problematiche sono esaminate con procedure cliniche attraverso rigonfiamenti, palpazioni e punture. Pur essendo presenti molte opzioni in termini di esami possibili per il riconoscimento delle complicanze, come l'ecografia Doppler, sono in genere strumenti che presentano una scarsa portabilità, invasività e costi elevati.

In Brasile, la lipoaddominoplastica rappresenta quasi il 16% degli interventi di chirurgia plastica ed è proprio per questo motivo che è sorta la necessità di trovare un metodo di diagnosi alternativo e più facilmente utilizzabile.

In un articolo recente (2020) pubblicato da 5 autori (Patricia Rodrigues Resende, Marcos Leal Brioschi, Franciele De Menneck, Eduardo Borba Neves e Manoel Jacobsen Teixeira) è stato esaminato il suddetto problema appoggiandosi alla termografia a infrarossi. Lo studio prende in considerazione 2 casi clinici, di cui 1 con complicanze postoperatorie, al fine di valutare l'efficienza della termografia nel processo di guarigione della lipoaddominoplastica. È stata utilizzata la termografia per la valutazione funzionale del microcircolo, la mappatura dei perforatori, la risposta simpatica vasomotoria della pelle e la riperfusione del tessuto. Sono state esaminate due donne dai 45 ai 50 anni sane e sottoposte a lipoaddominoplastica. È stato seguito il decorso postoperatorio dei due soggetti ed è emerso che uno dei due casi presentava delle complicanze confermate anche dai valori della temperatura nelle immagini termografiche. Sono stati in grado, grazie alla termografia, di controllare lo stato della riperfusione del tessuto e di prevedere la necrosi del lembo in modo da ridurre al minimo i danni. I risultati di questo studio sono quindi positivi ed evidenziano una correlazione tra necrosi e differenza di temperatura.

Tuttavia, l'analisi è stata fatta su solamente due pazienti quindi, nonostante i risultati promettenti, non si può definire determinante nella valutazione dell'efficienza della termografia nel campo della lipoaddominoplastica.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Per questo studio sull'efficienza della termografia in ambito della chirurgia plastica ed estetica sono stati presi in considerazione diversi articoli.

I risultati osservati sono stati quasi in totalità positivi.

Attualmente sono presenti molte tecnologie per gli esami clinici che però presentano degli svantaggi come l'invasività e i costi elevati. Proprio a questo riguardo la termografia potrebbe essere, in un futuro non lontano, una tecnica di diagnosi per molte complicanze in chirurgia e patologie.

Negli ultimi anni, la tecnologia in ambito di termografia, ha subito un positivo sviluppo rendendo questa procedura una possibile tecnica clinica di diagnosi. Il vantaggio della termografia, a differenza degli anni passati, non è più solo quello della non invasività, ma bensì presenta un costo basso ed un'estrema portabilità.

Questi sono, almeno per gli argomenti trattati, dei più che validi motivi per promuovere l'utilizzo della termografia per analisi e diagnosi cliniche.

BIBLIOGRAFIA

- Mercer, J., Weerd, L. D., Miland, Å. O., Weum, S. (1970, January 1). Cardiovascular Research Group, Faculty of Health Sciences, University of Tromsø, Tromsø, Norway, Department of Plastic Surgery and Hand Surgery and Department of Radiology, University Hospital North Norway “*Pre-, Intra-, and Postoperative Use of Dynamic Infrared Thermography (DIRT) Provides Valuable Information on Skin Perfusion in Perforator Flaps Used in Reconstructive Surgery*”
- Martin Andrea, Università degli studi di padova, Dip. di Medicina Animale, Produzioni e Salute, Corso di laurea magistrale a ciclo unico in Medicina Veterinaria, “*L’uso della termografia nella diagnosi di patologie respiratorie negli ofidi*”
- Carrière, M. E., Haas, L. E., Pijpe, A., Meij-de Vries, A., Gardien, K. L., Zuijlen, P. P., & Jaspers, M. E. (2019). *Validity of thermography for measuring burn wound healing potential. Wound Repair and Regeneration*, 28(3), 347–354. <https://doi.org/10.1111/wrr.12786>
- Mazzoldi, P., Nigro, M., Voci, C., & Milani, E. (n.d.). *Elementi di Fisica: Meccanica E termodinamica (II)*. Edises.
- Jaspers, M. E., Maltha, I., Klaessens, J. H., de Vet, H. C., Verdaasdonk, R. M., & van Zuijlen, P. P. (2016). *Insights into the use of thermography to assess burn wound healing potential: A reliable and valid technique when compared to laser Doppler imaging. Journal of Biomedical Optics*, 21(09), 1. <https://doi.org/10.1117/1.jbo.21.9.096006>
- Vergilio, M. M., Gomes, G., Aiello, L. M., Fontana, M., Aldred, A., Ribeiro, J. A., Gabbi, T. V., & Leonardi, G. R. (2022). *Evaluation of skin using infrared thermal imaging for dermatology and Aesthetic Applications. Journal of Cosmetic Dermatology*, 21(3), 895–904. <https://doi.org/10.1111/jocd.14748>
- John HE, Niumsawatt V, Rozen WM, Whitaker IS. *Clinical applications of dynamic infrared thermography in plastic surgery: A systematic review. Gland surgery*. 2016 Apr;5(2):122-32. doi: 10.3978/j.issn.2227-684X.2015.11.07. PMID: 27047781; PMCID: PMC4791361.
- Rodrigues Resende, P., Brioschi, M. L., De Meneck, F., Neves, E. B., & Teixeira, M. J. (2021). *Predicting lipoabdominoplasty complications with infrared thermography: A delta-analysis. Archives of Plastic Surgery*, 48(05), 553–558. <https://doi.org/10.5999/aps.2021.00101>

SITOGRAFIA

Paginemediche. (2011, November 7). *Termografia: A Cosa serve?* Paginemediche.
Retrieved from <https://www.paginemediche.it/medicina-e-prevenzione/esami/termografia>