

【已经发表·欢迎传阅读】

石墨烯医疗学术论文集

烯旺新材料科技股份有限公司

中国·深圳
2019年8月

目 录

1. 石墨烯温热疗法对寒湿凝滞型原发性痛经临床疗效研究.....	1
2. 石墨烯热疗对良性甲状腺结节的疗效.....	7
3. 石墨烯远红外智能理疗护腰（护膝）贴敷配合针刺治疗慢性腰腿痛.....	12
4. 石墨烯智能理疗护膝对膝关节骨性关节炎的疗效观察.....	15
5. 红外线的生物效应及临床应用.....	20
6. 石墨烯基低电压透明辐射电热膜器件.....	错误！未定义书签。

Clinical Efficacy Observation on Dysmenorrhea of Cold-damp Stagnation Type with Graphene Thermotherapy Based on the Idea of TCM "Preventive Treatment of Disease"

Jinghua LI^{*} , Siyuan XIN , Fei GAO , Jianén GUO , Jinyang WU

Chengde Medical College , Chengde 067000 , China

Abstract [Objectives] To explore the clinical efficacy of graphene waist protector on dysmenorrhea of cold-damp stagnation type. [Methods] 150 patients with cold-damp stagnation type were randomly divided into 3 groups: 50 cases in the experimental group (using graphene waist protector) , 49 cases in the blank group (using the waist protector for removing the heating plate) and 51 cases in the control group (taking the Tongjingbao granules) . After intervening for 3 menstrual cycles , visual analogue scale and the COX menstrual symptom scale were used to evaluate the clinical efficacy of graphene waist protector. [Results] The clinical effective rate of dysmenorrhea in experimental group was 64.00% , while that of control group was 72.54% . With the effective rate of symptoms , the test group was 56.00% and the control group was 64.70% ; VAS dysmenorrhea visual score , duration of dysmenorrhea , severity of COX dysmenorrhea and duration of symptoms after intervention were significantly decreased in both experimental group and control group , the differences were statistically significant ($P < 0.05$) ; for the differences of the scores before and after the intervention: the differences of the experimental group and the control group were statistically significant ($P < 0.05$) compared with those of the blank group. There was no significant difference between experimental group and control group ($P > 0.05$) . [Conclusions] Graphene belt of experimental group and Tongjingbao granules of control group both have therapeutic effects on dysmenorrhea of cold-damp stagnation type. Graphene waist protector can relieve the pain and its accompanying symptoms in patients with primary dysmenorrhea of cold-damp stagnation type.

Key words Graphene , Waist protector , Cold-damp stagnation type , Primary dysmenorrhea , Clinical efficacy

1 Introduction

Primary dysmenorrhoea (PD) is a kind of periodic lower abdomen pain for females before and during the menstruation caused by non-organic lesion , which have many symptoms , such as soreness of waist and legs , inappetence , weakness , and so on^[1] . PD is a common and frequently-occurring disease for adolescent females , also a periodic chronic disease. Based on epidemiological investigation , the incidence rate has reached up to 30% –50% , what's worse , that reached up to 64.8% among college students , that high morbidity has had a strong impact on female patients' living quality^[2-3] .

According to traditional Chinese medicine , dysmenorrhea has five types of syndrome , such as qi-stagnation and blood stasis , congealing cold-damp , liver depression dampness-heat , qi and blood weakness and the deficiency of liver and kidney , in which the incidence rate of dysmenorrhea of congealing cold-damp is the highest in clinical practice^[4] , whose aetiological agent is congealing cold-damp and blocked meridian vessel , the disease location is uterus. Based on the therapeutic principle of " treating cold with hot drugs " , thermotherapy can effectively relieve the symptoms of dysmenorrhea , such as moxibustion , electro-heating Bian-stone , thermal therapy , and so on^[5-7] . On the basis of taking the patent technology of graphene heating film as the new material , combined

with the principle of ergonomics and the physiotherapy effect of far-infrared life light wave , graphene abdominal protecting belt was researched and developed , which has the characteristics of rapid heating warm , relieving pain , and improving human immunity , and so on. In this study , PD patients were taken as the research objects to observe the curative effect of dysmenorrhea using graphene waist protector , thereby providing data support for its clinical popularization and application.

2 Materials and methods

2.1 General materials Cases from Chengde Medical College and Hebei Normal University for Nationalities were collected , then these cases were screened according to inclusion and exclusion criteria , finally 156 qualified cases were chosen , subjects were randomly divided into three groups based on the method of random number table. In 52 females of the experimental group , 50 females were tested; in 52 females of the control group , 51 females were tested; in 52 females of the blank group , 49 females were tested. Total attrition rate was 3.84% , which was less than 15% , conforming to statistics requirement.

2.2 Baseline information of patients from three groups According to the comparison on the differences of age , disease course , severity degree of the COX Menstrual Symptom Scale (CMSS) , COX duration , Visual Analogue Scale (VAS) score and pain duration of three groups of subjects , the differences had no statistical significance ($P > 0.05$) , showing that the baselines of three groups of subjects were balanced and had comparability (Table 1) .

Received: June 25 , 2018 Accepted: September 15 , 2018

Supported by Traditional Chinese Medicine Administration of Hebei Province (2015033) ; Supported by Chengde Medical College (201528) .

* Corresponding author. E-mail: 454390877@qq.com

Table 1 Baseline information of subjects

Groups	Age	Disease course year	COX severity degree	COX duration min	VAS score	Pain duration min	
Experimental group	50	20.72 ± 1.41 ^{a b}	4.78 ± 1.89 ^{a b}	14.94 ± 4.48 ^{a b}	15.36 ± 4.61 ^{a b}	6.36 ± 1.28 ^{a b}	4.50 ± 2.18 ^{a b}
Control group	51	20.14 ± 1.97 ^a	4.49 ± 1.84 ^a	14.29 ± 5.49 ^a	15.86 ± 4.60 ^a	5.89 ± 1.51 ^a	4.57 ± 2.19 ^a
Blank group	49	20.33 ± 1.44	4.82 ± 1.95	13.53 ± 4.75	15.80 ± 4.68	6.41 ± 1.69	5.00 ± 2.20

Note: Compared with blank group , a: $P > 0.05$; compared with control group , b: $P > 0.05$.

2.3 Diagnostic criteria

2.3.1 The diagnostic criteria of Western medicine. According to the diagnostic criteria of primary dysmenorrhea in *Gynecology and Obstetrics*^[8] , (i) there is periodic lower abdomen pain for females before and during menstruation; (ii) reproductive organ has not obvious organic lesion , the secondary dysmenorrhea like endometriosis and adenomyosis , etc. is ruled out.

2.3.2 The diagnostic criteria of traditional Chinese medicine. By referring to congealing cold-damp dysmenorrhea in *Guiding Principles for Clinical Research on New Drugs of Traditional Chinese Medicine*^[9] , there is lower abdomen crymodynia before and during the menstruation , pain relieved by heat , hypomenorrhea , dark menstrual blood or menstrual blood clot , or menstrual blood looking like black soya bean juice , chills , cold hands and feet , whitish glossy coating of the tongue , deep wiry pulse or tight pulse.

2.4 Inclusion and exclusion criteria

2.4.1 Inclusion criteria. Subjects were diagnosed as primary dysmenorrhea from Western medicine , and were diagnosed as congealing cold-damp dysmenorrhea from traditional Chinese medicine; menstruating cycle was periodic; one month before the experiment , there were not any other treatment means , such as taking pain killers orally , moxibustion , and so on; subjects must volunteer to participate in the experiment and sign informed consents.

2.4.2 Exclusion criteria. Patients with cardio-cerebrovascular disease , hepatopathy and nephropathy , pregnant or lactating women , and unqualified persons caused by other reasons were excluded.

2.5 Therapeutic effect index

2.5.1 VAS scale. Pain degree was showed by 10 cm ruler , ruler 0 and 100 mm respectively represented painless and the most painful; subjects marked the pain degree on the ruler of testing record sheet.

2.5.2 CMSS scale. CMSS scale was used to grade the pain degree of lower abdomen , severity degree of simultaneous phenomenon and duration of symptoms of subjects , 5-point scoring method was adopted. (i) Severity degree: 0 point represented no uncomfortable; 1 point represented perceptible; 2 points represented symptomatic , but did not affect the life; 3 points represented symptoms already affected the life; 4 points represented symptoms seriously affected the life. (ii) Duration: The duration of symptoms was divided into 0 , < 3 h , 3 - 6 h , 6 - 12 h and 12 - 24 h , which respectively represented 0 point , 1 point , 2 points , 3 points and 4 points. Severity degree and duration of symptoms were respectively scored. The accompanying symptoms included nausea , emesis , inappetence , headache , pain/soreness/heaviness in waist and back , pain/soreness/heaviness of legs , dizziness , fullness in head , lacking in strength , depression , and so on.

2.5.3 Criteria for overall clinical efficacy of dysmenorrhea and clinical efficacy of accompanying symptoms. The criteria were drawn up by referring to *Criteria for Diagnosis and Clinical Efficacy of Diseases from Traditional Chinese Medicine*^[10] . Overall clinical efficacy: remarkable effect meant the integrals of lower abdomen pain and duration after the intervention respectively fell to less than 1/2 before the intervention , there were not uncomfortable symptoms like dizziness and palpitation , etc. ; effect meant the integrals of lower abdomen pain and duration after the intervention respectively fell to 1/2 - 3/4 before the intervention , and other symptoms turned good; no effect meant lower abdomen pain and other accompanying symptoms did not alleviate obviously and even worsened. Clinical efficacy of accompanying symptoms: Remarkable effect meant the integrals of COX accompanying symptoms and symptom duration after the intervention respectively fell to less than 1/2 before the intervention; effect meant the integrals of COX accompanying symptoms and symptom duration after the intervention respectively fell to 1/2 - 3/4 before the intervention; no effect meant accompanying symptoms did not alleviate obviously and even worsened.

2.6 The drop-out and discontinuation of cases (i) The dependency of subjects was poor , they still disobeyed and did not cooperate after repeated explanations by doctors , and quit on their own. (ii) During the experiment , subjects had serious adverse reaction and complication or the patients' condition worsened , so these subjects could not participate in the experiment. (iii) During the experiment , subjects assertively changed therapeutic methods and experienced other therapeutic methods.

2.7 Test methods

2.7.1 Experimental group. Danbao graphene waist protector produced by Shenzhen Grahope New Materials(GNM) was used; graphene thin film of the waist protector was put on the hypogastrium when using , then the waistband was tied up and adjusted to comfortable temperature by yourselves , such as , red , yellow and green lights were respectively adjusted to 45°C , 40°C and 38°C , that was used no less than 3 times a day and no less than 60 min at a time.

2.7.2 Control group. Yueyueshu Tongjingbao granules produced by Henan Wanxi Pharmaceutical Co. , Ltd. were taken orally , each bag of granules contains 10 g net , the medicine should be taken with boiled water , twice a day and one bag once.

2.7.3 Blank group Danbao graphene waist protector without graphene heating film should be used every day , and no less than 3 times a day , no less than 60 min once.

2.7.4 Course of treatment Patients of each group were intervened at the 7th d before the menstruation , which was finished at the 3rd d after the menstruation , one menstrual cycle was one course of treatment , and each group was intervened for 3 cycles continuously.

2.7.5 Observational index Visual analogue scale (VAS). COX menstrual symptom scale. The three groups were all evaluated in each menstrual cycle timely using VAS and COX scale, and observed for 3 menstrual cycles continuously.

2.7.6 Statistical methods Excel was used for logging data, SPSS(v17.0) software was taken for statistical analysis, mean \pm standard deviation ($\bar{x} \pm s$) was adopted for measurement data; paired *t*-test or *Wilcoxon* rank sum test was used for the comparison between pre-intervention and post-intervention within each group, one-way analysis of variance or *Kruskal-Wallis* one-way analysis of variance (*k* sample) was used for the comparison among groups, χ^2 test was used for statistical analysis of measure-

ment data. $P < 0.05$ showed that the differences had statistical significance.

3 Results

3.1 Comparison on the overall clinical efficacy after the intervention Overall clinical effective rate of dysmenorrhea in the experimental group 3 months after the intervention was 64.00%, while that of the control group and the blank group was 72.54% and 2.04%, respectively, the differences of the effective rates among the three groups had statistical significance ($P < 0.05$) (Table 2).

Table 2 Comparison on the overall clinical efficacy of each group 3 months after the intervention

Groups	Case number//cases	Remarkable effect//cases	Effect//cases	No effect//cases	Effective rate//%	χ^2 value	<i>P</i> value
Experimental group	50	8	24	18	64.00	67.847	<0.001
Control group	51	20	17	14	72.54		
Blank group	49	0	1	48	2.04		

3.2 Comparison on the clinical efficacy of accompanying symptoms after the intervention The clinical effective rate of accompanying symptoms of dysmenorrhea in the experimental group 3 months after the intervention was 56.00%, while that of the con-

trol group and the blank group was 64.70% and 2.08%, respectively, the differences of the effective rates among the three groups had statistical significance ($P < 0.05$) (Table 3).

Table 3 Comparison on the clinical efficacy of accompanying symptoms of each group 3 months after the intervention

Groups	Case number//cases	Remarkable effect//cases	Effect//cases	No effect//cases	Effective rate//%	χ^2 value	<i>P</i> value
Experimental group	50	6	22	22	56.00	48.733	<0.001
Control group	51	11	22	18	64.70		
Blank group	49	0	1	48	2.08		

3.3 The improvement on scores of COX dysmenorrhea symptom scale after the intervention Intra-group comparison: the comparison on the scores of COX dysmenorrhea symptom scale between pre-intervention and post-intervention respectively in the experimental group and the control group was carried out, showing that the differences had statistical significance ($P < 0.05$); the comparison on the scores of COX dysmenorrhea symptom scale in the blank group showed that the difference had no statistical significance ($P > 0.05$).

Comparison among groups: compared with blank group, the difference value on the scores of COX dysmenorrhea symptom scale between pre-intervention and post-intervention in the experimental group and the control group showed that the differences had statistical significance ($P < 0.05$); compared with the control group, the difference value on the scores of COX dysmenorrhea symptom scale between pre-intervention and post-intervention in the experimental group showed that the difference had no statistical significance ($P > 0.05$).

Table 4 The improvement on scores of COX dysmenorrhea symptom scale after the intervention ($\bar{x} \pm s$)

Groups	Case number cases	Before the intervention points	After the intervention points	Difference between pre-intervention and post-intervention
Experimental group	50	14.94 \pm 4.48	9.26 \pm 4.47 ^a	-5.68 \pm 0.86 ^{de}
Control group	51	14.29 \pm 5.49	8.53 \pm 4.71 ^b	-5.76 \pm 1.10 ^d
Blank group	49	13.53 \pm 4.75	12.76 \pm 4.02 ^c	-0.78 \pm 1.43

Note: Intra-group comparison: compared with baseline value, a: $P < 0.05$, b: $P < 0.05$, c: $P > 0.05$; comparison among groups: compared with blank group, d: $P < 0.05$; compared with control group, e: $P > 0.05$.

3.4 The improvement on the duration of dysmenorrhea symptoms after the intervention Intra-group comparison: the comparison on the scores of the duration of dysmenorrhea symptoms between pre-intervention and post-intervention respectively in the experimental group and the control group was carried out, showing that the differences had statistical significance ($P < 0.05$); the comparison on the scores of the duration of dysmenorrhea symptoms between pre-

intervention and post-intervention in the blank group showed that the difference had no statistical significance ($P > 0.05$).

Comparison among groups: compared with blank group, the difference value on the scores of the duration of dysmenorrhea symptoms between pre-intervention and post-intervention in the experimental group and the control group showed that the differences had statistical significance ($P < 0.05$); compared with control

group, the difference value on the scores of the duration of dysmenorrhea symptoms between pre-intervention and post-interven-

tion in the experimental group showed that the difference had no statistical significance ($P > 0.05$).

Table 5 The improvement on the duration of COX dysmenorrhea symptoms after the intervention ($\bar{x} \pm s$)

Groups	Case number cases	Before the intervention points	After the intervention points	Difference between pre-intervention and post-intervention
Experimental group	50	15.36 ± 4.61	11.52 ± 4.24 ^a	-3.84 ± 2.01 ^{de}
Control group	51	15.86 ± 4.60	9.41 ± 4.70 ^b	-3.69 ± 4.23 ^d
Blank group	49	15.80 ± 4.68	15.04 ± 3.71 ^c	-0.76 ± 1.53

Note: Intra-group comparison: compared with baseline value, a: $P < 0.05$, b: $P < 0.05$, c: $P > 0.05$; comparison among groups: compared with blank group, d: $P < 0.05$; compared with control group, e: $P > 0.05$.

3.5 Comparison on VAS dysmenorrhea scores of two groups of patients between pre-intervention and post-intervention

Intra-group comparison: the comparison on VAS dysmenorrhea scores between pre-intervention and post-intervention respectively in the experimental group and the control group was carried out, showing that the differences had statistical significance ($P < 0.05$); the comparison on VAS dysmenorrhea scores between pre-intervention and post-intervention in the blank group showed that the difference had no statistical significance ($P > 0.05$).

Comparison among groups: compared with blank group, the difference value on VAS dysmenorrhea scores between pre-intervention and post-intervention in the experimental group and the control group showed that the differences had statistical significance ($P < 0.05$); compared with control group, the difference value on VAS dysmenorrhea scores between pre-intervention and post-intervention in the experimental group showed that the difference had no statistical significance ($P > 0.05$).

Table 6 The improvement on VAS dysmenorrhea scores of two groups of patients after the intervention ($\bar{x} \pm s$)

Groups	Case number cases	Before the intervention points	After the intervention points	Difference between pre-intervention and post-intervention
Experimental group	50	6.36 ± 1.28	3.46 ± 1.70 ^a	-2.90 ± 1.73 ^{de}
Control group	51	5.89 ± 1.51	4.00 ± 1.91 ^b	-1.89 ± 1.36 ^d
Blank group	49	6.41 ± 1.69	6.18 ± 1.78 ^c	-0.23 ± 0.56

Note: Intra-group comparison: compared with baseline value, a: $P < 0.05$, b: $P < 0.05$, c: $P > 0.05$; comparison among groups: compared with blank group, d: $P < 0.05$; compared with control group, e: $P > 0.05$.

3.6 Comparison on dysmenorrhea duration of two groups of patients between pre-intervention and post-intervention

Intra-group comparison: the comparison on scores of dysmenorrhea duration between pre-intervention and post-intervention respectively in the experimental group and the control group was carried out, showing that the differences had statistical significance ($P < 0.05$); the comparison on scores of dysmenorrhea duration between pre-intervention and post-intervention in the blank group showed that the difference had no statistical significance

($P > 0.05$).

Comparison among groups: compared with blank group, the difference value on scores of dysmenorrhea duration between pre-intervention and post-intervention in the experimental group and the control group showed that the differences had statistical significance ($P < 0.05$); compared with control group, the difference value on scores of dysmenorrhea duration between pre-intervention and post-intervention in the experimental group showed that the difference had no statistical significance ($P > 0.05$).

Table 7 The improvement on scores of dysmenorrhea duration of two groups of patients after the intervention ($\bar{x} \pm s$)

Groups	Case number cases	Before the intervention points	After the intervention points	Difference between pre-intervention and post-intervention
Experimental group	50	4.50 ± 2.18	2.46 ± 1.79 ^a	-2.04 ± 1.78 ^{de}
Control group	51	4.57 ± 2.19	2.86 ± 1.82 ^b	-1.71 ± 1.11 ^d
Blank group	49	5.00 ± 2.20	4.61 ± 2.12 ^c	-0.39 ± 0.57

Note: Intra-group comparison: compared with baseline value, a: $P < 0.05$, b: $P < 0.05$, c: $P > 0.05$; comparison among groups: compared with blank group, d: $P < 0.05$; compared with control group, e: $P > 0.05$.

4 Discussions

Primary dysmenorrhoea belongs to the category of "dysmenorrhoea" in traditional Chinese medicine. *Complete Collection of Prescriptions for Women* recorded that "for the women with dysmenorrhoea, the cold wind invades uterine vessels, which is bad for Chong pulse and Ren pulse... blood is invaded by cold wind, blood and cold wind collide with each other, thereby causing the

pain." Primary dysmenorrhoea is mainly that cold-evil rushes into uterus and damages Chong pulse and Ren pulse, thereby causing the disorder of Qi and blood of Chong pulse and Ren pulse, stagnation leads to pain, the therapy is "warm therapy". At present, moxibustion therapy or taking warming and activating meridian drugs orally has been the main therapy clinically to cure the dysmenorrhoea of cold-damp stagnation type^[5-6,11].

At present , graphene is a thinnest novel nanomaterial with the maximum intensity and the strongest electrical and thermal performance in the world , is also known as "the king of new material"^[12]. It has strong infrared radiation performance , its wave length of far infrared radiation is very close to that of human body , thus having physical therapy effect^[13]. Li *et al.*^[14] made the pharmaceutical effect release at the therapeutic target by modifying combined with the characteristics of high absorbability of near-infrared radiation and high specific surface area of oxidized graphene , which not only gave play to the effect of chemotherapy and the irradiation of near-infrared light , but also played the role of phototherapy. Graphene waist protector , produced by combining graphene technology with the principle of ergonomics and the physiotherapy effect of far-infrared radiation , had the characteristics of rapid heating warm , relieving pain , and improving metabolism , and so on , which had unique advantages in the treatment of dysmenorrhea.

In this study , after intervening for three months in the experimental group and control group , overall clinical effective rates of dysmenorrhea in the two groups respectively reached 64.00% and 72.54% , the differences had statistical significance , which showed that graphene waist protector in the experimental group and Tongjingbao granules in the control group both had therapeutical effects on cold-damp dysmenorrhea; compared with blank group , VAS dysmenorrhea visual scores , scores of dysmenorrhea duration , scores of COX dysmenorrhea symptoms and duration all were improved obviously , and the differences had statistical significance , showing that graphene waist protector in the experimental group and Tongjingbao granules in the control group both could relieve the symptoms of dysmenorrhea of cold-damp stagnation type and its accompanying symptoms , but the effects of improving the VAS dysmenorrhea visual scores and scores of dysmenorrhea duration in the experimental group were better than those of the control group , however , the difference had no statistical significance , thus these could not show that the effect of relieving pain in the experimental group was better than this in the control group.

In general , the effects of graphene waist protector on relieving the clinical symptoms of dysmenorrhea of cold-damp stagnation type and its accompanying symptoms were doubtless , and its mitigative effect may be superior to Tongjingbao granules; according to the analysis , it showed that graphene waist protector can directly act on the abdomen , which on the one hand made local skin temperature rise by warm and hot stimulation , skin hemangiectasis , and blood flow quicken , thereby giving play to the role of warming and dispelling coldness. Warming itself also can stimulate the channel and acupoint of lower abdomen , the acupoints of Qihai and Guanyuan of the position are the common acupoints for treating dysmenorrhea clinically^[17]. On the other hand , the vibrational frequency of far infrared wave emitted by graphene waist protector was close to that of cellular elements inside the human body , thereby generating thermal energy by molecular resonance , causing temperature increment , promoting blood circulation especially speeding up microcirculation , improving oxygen supply , strengthening cell regeneration ability , allaying tiredness , improving the immunity of the organism , giving play to the role of calming the spirit and

easing pain^[15-16]. The method provides a new way for treating dysmenorrhea , it is noninvasive and no toxic side it deserves further development and promotion. It is necessary to further observe the effects of moxibustion and graphene waist protector on relieving the dysmenorrhea of cold-damp stagnation type.

In the study , the experiment was small sample randomized controlled trial , the sample size was small , thus the power of test was low , thereby affecting the intensity of argumentation on the true result. In the future , large-sample and multicenter randomized controlled trial should be carried out to comprehensively evaluate the therapeutic effect of graphene waist protector.

References

- [1] LIU H. Investigation and analysis on the clinical application law and physical characteristics of traditional Chinese medicine for primary dysmenorrhea [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine , 2016. (in Chinese) .
- [2] CHEN YR. The experimental and clinical study of moxibustion Shenque acupoint for treatment of primary dysmenorrhea with cold blood stasis [D]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine , 2016. (in Chinese) .
- [3] SUN Y. The research of Yoga for female college students about effect of primary dysmenorrhea [D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University , 2016. (in Chinese) .
- [4] SONG CH. Clinical and experimental research on the treatment of primary dysmenorrhea with cold-damp stagnation by Yu Tong Tie [D]. Ji'nan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine , 2003. (in Chinese) .
- [5] NIU XX , NIU G , LUO XM. Clinical observation of 61 cases of dysmenorrhea treated by moxibustion and medicine [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research , 2014 , 25(4) : 878 - 879. (in Chinese) .
- [6] XIE HW , LIU FS , JIAO L , *et al.* Clinical observation of thermal moxibustion in treatment of primary dysmenorrhea and common accompanying symptoms in menstrual period [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research , 2016 , 27(9) : 2187 - 2189. (in Chinese) .
- [7] FAN S , ZHANG ZY. Clinical observation on the treatment of primary dysmenorrhea of cold blood stasis by massage combined with stone needle with electric heat [J]. Chinese Journal of Basic Medicine in Traditional Chinese Medicine , 2014 , 20(8) : 1141 - 1143. (in Chinese) .
- [8] XIE X , GOU WL. Gynaecology and obstetrics [M]. Beijing: People's Medical Publishing House , 2013. (in Chinese) .
- [9] ZHENG XY. Guiding principles for clinical research on new drugs of traditional Chinese medicine [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press , 2002. (in Chinese) .
- [10] State Administration of Traditional Chinese Medicine of the People's Republic of China. Criteria for diagnosis and treatment of diseases and syndromes in Chinese medicine [M]. Nanjing: Nanjing University Press , 1994: 51 - 52. (in Chinese) .
- [11] SUN YY , JI HY , CHEN B , *et al.* Research progress in pathogenesis and traditional Chinese medicine treatment of primary dysmenorrhea [J]. China Pharmacist , 2017 , 20(1) : 144 - 147. (in Chinese) .
- [12] SUN HB , WANG SC , LU DS , *et al.* Preparation and characterization of polyamide fiber modified by biomass graphene [J]. Synthetic Fiber in China , 2017 , 46(7) : 14 - 16. (in Chinese) .
- [13] HU XL , TIAN MW , ZHU SF , *et al.* Far-infrared emitting cotton fabric based on graphene finishing [J]. Journal of Chengdu Textile College , 2016 , 33(2) : 11 - 14. (in Chinese) .
- [14] LI J , LU Z , LI Y , *et al.* A theranostic prodrug delivery system based on Pt (IV) conjugated nano-graphene oxide with synergistic effect to enhance the therapeutic efficacy of Pt drug [J]. Biomaterials , 2015 , 51: 12 - 21.

(To page 82)

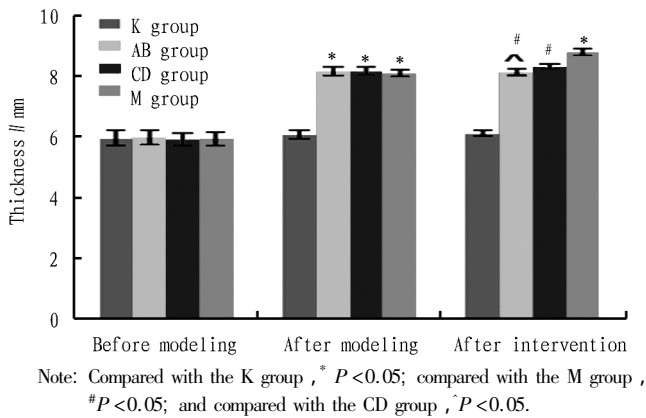


Fig.2 Comparisons of rat left foot thickness among different groups ($\bar{x} \pm s, n=8$)

sis. In the two moxibustion groups, the pathological changes such as inflammatory infiltration, fibrosis and angiogenesis were alleviated, and the moxibustion effect of the AB group was better than that of the CD group (observed under a 400-fold optical microscope).

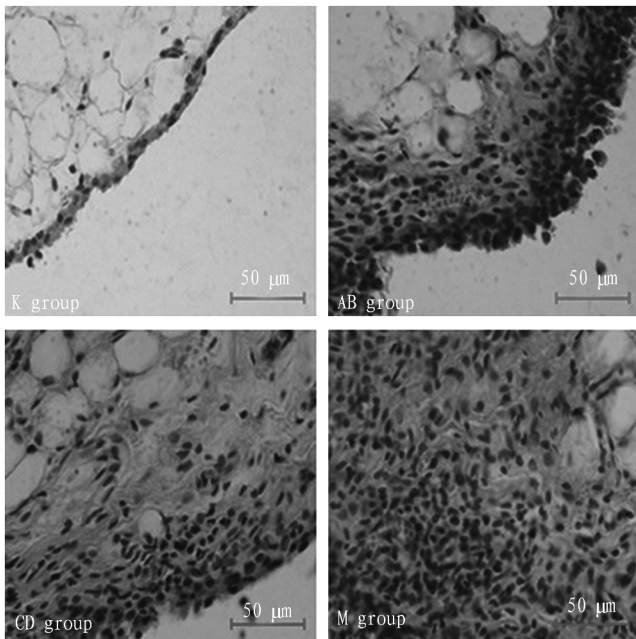


Fig.3 Morphology of synovial tissue of rats in the experimental groups (optical microscope, 400 ×)

4 Discussion

Complementary acupoints are based on the theory of meridians and acupoints, with the theory of acupoints with yin and yang as the core. Its effect in clinical treatment of RA is remarkable, with ac-

curate and convenient acupoint location. In previous clinical and experimental studies, researchers have used moxibustion at Shenshu and Zusanli points as one of the routine treatments for RA, and its effects have been unanimously recognized by researchers^[5-6].

As a traditional Chinese medicine, moxibustion is a combination of warming action, moxa efficacy and special action of acupoints to produce a comprehensive therapeutic effect. In this experiment, the complementary points of Yinlingquan and Yanglingquan were selected as research points, and the anti-inflammatory effects of moxibustion and the synergistic effect of complementary acupoints were combined to study the therapeutic effect and mechanism of moxibustion at complementary acupoints on CIA rats, so as to supplement the theoretical basis and method for clinical treatment of RA.

The results of this study showed that under the combination of synergistic effect of complementary acupoints and the immunomodulatory effects of moxibustion, in terms of left foot thickness and pathological changes of the synovial tissue in the AB and the CD group, the advantages of combining moxibustion with complementary acupoints were observed. This might be related to the positional advantages of the complementary acupoints of Yinlingquan and Yanglingquan which were close to the lesions and the special synergistic effect of complementary acupoints. The therapeutic mechanism of moxibustion at the complementary acupoints of Yinlingquan and Yanglingquan on RA still needs further study.

References

- [1] WANG YH, YANG ZX, GUO YC, *et al.* Renovation of acupuncture teaching based on opposite points[J]. Chinese Acupuncture & Moxibustion, 2013, 33(6): 557-559. (in Chinese).
- [2] YANG ZX. Relative acupuncture and clinical application[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005: 1. (in Chinese).
- [3] YANG ZX, LIU DD, QU JY, *et al.* Effect of acupuncture the complementary acupoints Yanglingquan and Yinlingquan on substance P expression[J]. Chinese Journal of Basic Medicine In Traditional Chinese Medicine, 2017, 23(8): 1132-1134. (in Chinese).
- [4] YANG ZX, QU JY, AN N, *et al.* Effect of acupuncture at complementary acupoints on mast cells and histamine/bradykinin released by mast cells in the regions of acupoints[J]. Journal of Acupuncture and Tuina Science, 2017, 16(12): 1-7. (in Chinese).
- [5] YUAN J, HU L, SONG XG, *et al.* Influence of moxibustion on TLR 4-MyD 88-NF- κ B signal transduction pathway of synovial tissue in rheumatoid arthritis rats[J]. Acupuncture Research, 2015, 40(3): 199-204. (in Chinese).
- [6] PENG CY, HU L. Influence of moxibustion at "Shenshu", "Zusanli" on MMP-9 with rheumatoid arthritis rat[J]. Journal of Zhejiang University of Traditional Chinese Medicine, 2015, 39(1): 6-8. (in Chinese).

(From page 79)

- [15] DU MZ, TIAN MW, QU LJ. Research progress of far-infrared textiles and new graphene far-infrared functional textiles[J]. Journal of Chengdu Textile College, 2016, 33(4): 132-137. (in Chinese).
- [16] WANG Y, SHUI SS, WANG X. Molecular mechanism of far-infrared therapy and its applications in biomedicine[J]. Science & Technology

Review, 2014, 32(30): 80-84. (in Chinese).

- [17] YU HJ, ZHAO JY, ZHAO CH, *et al.* Application of analogical acupoints on dysmenorrhea: a literature study of latest 10 years[J]. Journal of Beijing University of Traditional Chinese Medicine, 2016, 39(12): 1054-1056. (in Chinese).

石墨烯热疗对良性甲状腺结节的疗效

任慧雅¹,高宏博²,李月秋³,李爱红¹,张桂玲¹,李静华⁴

1.保定市第一医院内分泌科,河北保定071000;2.保定市第一中心医院心内科,河北保定071000;3.烯旺新材料科技股份有限公司,广东深圳518057;4.承德医学院中医学院治未病研究室,河北承德067000

【摘要】目的:探讨石墨烯热疗对良性甲状腺结节的影响。**方法:**选取良性甲状腺结节患者97例,随机分为对照组(47例)和治疗组(50例),对照组不接受任何干预措施,治疗组接受4个疗程共120 d的石墨烯护颈带治疗。超声测量两组患者治疗前后甲状腺结节最大直径、最大横截面面积,并采用直接化学发光法检测治疗前后两组患者甲状腺功能(FT_3 、 FT_4 和促甲状腺激素)。结果:对照组治疗前后甲状腺结节最大直径、最大横截面面积无明显变化($P>0.05$);经过治疗后,治疗组甲状腺结节最大直径减小(0.17 ± 0.13) cm($P<0.05$),最大横截面面积减小(0.41 ± 0.45) cm^2 ($P<0.05$)。两组患者治疗前后甲状腺功能无明显变化($P>0.05$)。结论:石墨烯热疗可缩小良性甲状腺结节的最大直径和最大横截面面积,对甲状腺功能无明显影响,具有良好的临床应用前景。

【关键词】甲状腺结节;石墨烯;热疗;最大直径;最大横截面面积

【中图分类号】R312;R581

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)04-0487-05

Therapeutic effects of graphene thermal therapy for benign thyroid nodules

REN Huiya¹, GAO Hongbo², LI Yueqiu³, LI Aihong¹, ZHANG Guilin¹, LI Jinghua⁴

1. Department of Endocrinology, Baoding No.1 Hospital, Baoding 071000, China; 2. Department of Cardiology, Baoding No.1 Central Hospital, Baoding 071000, China; 3. Grahope New Materials Technologies Inc., Shenzhen 518057, China; 4. Department of Preventive Medicine, School of Traditional Chinese Medicine, Chengde Medical College, Chengde 067000, China

Abstract: Objective To explore the responses of benign thyroid nodules to graphene thermal therapy. **Methods** A total of 97 patients with benign thyroid nodules were enrolled in this study and then randomly divided into control group ($n=47$) and treatment group ($n=50$). Control group did not receive any intervention measure, while treatment group received 4 courses (120 days) of graphene neck protection bandage treatment. The maximum diameter and maximum cross-sectional area of the thyroid nodules before and after treatment in both groups were measured with ultrasound. Thyroid functions (FT_3 , FT_4 and thyroid stimulating hormone) in both groups before and after treatment were detected by direct chemiluminescence. **Results** The maximum diameter and maximum cross-sectional area of the thyroid nodules before and after treatment showed no obvious changes in control group ($P>0.05$). However, the maximum diameter and maximum cross-sectional area of the thyroid nodules in treatment group were reduced by (0.17 ± 0.13) cm and (0.41 ± 0.45) cm^2 , respectively ($P<0.05$). The thyroid functions remained stable in both groups before and after treatment ($P>0.05$). **Conclusion** Graphene thermal therapy which can reduce the maximum diameter and maximum cross-sectional area of benign thyroid nodules and has no significant effects on the thyroid functions is worthy of clinical application.

Keywords: thyroid nodule; grapheme; thermal therapy; maximum diameter; maximum cross-sectional area

前言

甲状腺结节是临床常见的甲状腺疾病,其临床

检出率为19%~67%^[1],我国健康体检人群甲状腺结节患病率为32.0%~49.5%^[2-5],并以良性结节为主。临床对良性甲状腺结节的处理主要采用定期随访,相关指南不建议常规使用促甲状腺激素(Thyroid Stimulating Hormone, TSH)抑制治疗等非手术治疗^[6-7]。石墨烯是一种新型的二维纳米材料,具有良好的力学、光热学及生物相容性,有研究发现石墨烯及其衍生物可用于肿瘤的光热/光动力治疗^[8]。本研

【收稿日期】2018-11-11

【基金项目】保定市科学技术研究与发展指导计划(12ZF001)

【作者简介】任慧雅,硕士,主任中医师,研究方向:甲状腺疾病的诊治,

E-mail: 783735141@qq.com

究采用随机、开放、空白对照、前瞻性临床试验以探索石墨烯体外热疗对良性甲状腺结节的影响。

1 对象与方法

1.1 对象

选取在保定市第一医院体检科检出的甲状腺结节患者共97例,其中,男28例,女69例,并随机分为对照组和治疗组。对照组47例,平均年龄(44.19±11.96)岁,体质指数(24.78±3.39) kg/m²;治疗组50例,平均年龄(47.94±9.54)岁,体质指数(24.42±2.94) kg/m²。

1.2 入选标准

入选标准包括:(1)年龄≤75岁;(2)超声证实为单发或多发实质性结节,最大结节直径为5~25 mm;(3)甲状腺功能在正常范围内。排除标准包括:(1)甲状腺功能异常;(2)甲状腺高功能腺瘤;(3)亚急性甲状腺炎;(4)桥本甲状腺炎;(5)甲状腺结节中有囊性成分;(6)颈部手术、放射治疗史;(7)恶性肿瘤病史。

1.3 治疗方法

对照组不实施任何干预。治疗组使用石墨烯材料制成的护颈带,将温度调至39℃,戴在患者甲状腺结节部位,每人每天佩戴石墨烯护颈带30 min。连续佩戴20 d后休息10 d为一个疗程,4个疗程(共120 d)后复查甲状腺超声。

1.4 观察指标

对照组和治疗组患者于治疗前后应用飞利浦HD9行甲状腺超声检测,探头型号为L12-5,频率为8.8 MHz,设备深度(DPT)为40 mm,增益(GAIN)为33/100 dB, TGC调至中央。记录治疗前后两组患者甲状腺结节最大直径(Maximum Diameter, MD),治疗前为MD1,治疗后为MD2;最大横截面面积(Maximum Cross-Sectional Area, CSA),治疗前为CSA1,治疗后为CSA2。多发实性结节以最大甲状腺结节为准。空腹抽取静脉血3 mL,分离血清检测甲状腺功能(参考值:FT₃ 3.5~6.5 pmol/L; FT₄ 11.5~22.7 pmol/L; TSH 0.35~5.50 mIU/L),检测设备为西门子XP,检测方法为直接化学发光法。超声检查及化验检查均由同一名高年资专业技师医师进行操作,以减少人为干扰因素。

1.5 统计学处理

运用SPSS 22.0统计软件包进行统计学分析。计量资料采用均值±标准差表示,并采用t检验进行比较;计数资料采用n(%)表示,并采用卡方分析进行比较;P<0.05表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料比较

治疗前两组患者年龄、性别、体质指数及甲状腺结节MD和CSA比较,差异均无统计学意义(P>0.05),见表1。

表1 两组间一般资料的比较(̄x±s)

Tab.1 Comparison of general information between two groups (Mean±SD)

组别	n	年龄/岁	性别		体质指数/kg·m ²	MD1/cm	CSA1/cm ²
			男	女			
对照组	47	44.19±11.96	17(36.2%)	30(63.8%)	24.78±3.39	0.91±0.35	1.86±1.36
治疗组	50	47.94±9.54	11(22.0%)	39(78.0%)	24.42±2.94	0.77±0.36	1.53±1.54

MD1:治疗前最大直径;CSA1:治疗前最大横截面直径

2.2 两组患者治疗前后甲状腺功能变化

两组患者治疗前甲状腺功能比较,差异均无统

计学意义(P>0.05);治疗后两组患者甲状腺功能比较,差异亦无统计学意义(P>0.05),见表2。

表2 治疗前后甲状腺功能比较(̄x±s)

Tab.2 Comparison of thyroid function before and after treatment (Mean±SD)

组别	n	治疗前			治疗后		
		FT ₃ /pmol·L ⁻¹	FT ₄ /pmol·L ⁻¹	TSH/mIU·L ⁻¹	FT ₃ /pmol·L ⁻¹	FT ₄ /pmol·L ⁻¹	TSH/mIU·L ⁻¹
对照组	47	4.97±0.57	16.39±2.53	1.90±1.11	5.12±0.77	16.21±2.12	1.93±1.12
治疗组	50	4.96±0.47	16.15±1.87	1.77±1.05	5.01±0.49	16.17±2.10	1.89±1.16

TSH:促甲状腺激素

2.3 治疗前后两组甲状腺结节MD和CSA比较

对照组经过 120 d 的观察,结果显示 MD1 与 MD2 及 CSA1 与 CSA2 比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗组经过 120 d 的治疗,MD1 与 MD2 比较发现治疗后甲状腺结节 MD 减小(0.17 ± 0.13) cm;CSA1 与 CSA2 比较发现治疗后甲状腺结节 CSA 减小(0.41 ± 0.45) cm^2 ,差异均有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

表3 治疗前后甲状腺结节最大直径和最大横截面面积比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Comparison of the maximum diameter and maximum cross-sectional area of the thyroid nodule before and after treatment (Mean \pm SD)

组别	n	治疗前		治疗后	
		MD1/cm	CSA1/ cm^2	MD2/cm	CSA2/ cm^2
对照组	47	0.91 \pm 0.35	1.86 \pm 1.36	0.93 \pm 0.36	1.90 \pm 1.40
治疗组	50	0.77 \pm 0.36	1.53 \pm 1.54	0.61 \pm 0.31* Δ	1.12 \pm 1.24* Δ

*治疗前后比较, $P<0.05$; Δ 治疗组与对照组治疗后比较, $P<0.05$ 。

3 讨论

甲状腺结节是临床常见的内分泌疾病,主要为良性结节。甲状腺在多种因素作用下促进甲状腺滤泡进入有丝分裂期,产生具有高生长潜力的新滤泡,在甲状腺内不均匀生长,导致单侧或双侧甲状腺腺叶增大,在腺叶局部形成甲状腺结节。甲状腺结节

的手术治疗创伤较大,术后甲状腺功能降低事件时有发生,切口癍痕表现明显,并发症较多。此外,TSH 抑制治疗的剂量不易选择,对内分泌及心血管系统干扰大,且停药后复发率高^[9]。

石墨烯是一种单原子层蜂窝状的二维原子晶体,是世界上最薄的新型二维纳米材料,厚度仅为 0.35 nm,独特的结构赋予石墨烯优异的电学、光学、机械和热学性能。石墨烯纳米材料在生物医学领域中具有巨大的应用潜力,独特的物理、化学和力学特性可支持成纤维细胞、骨髓间充质干细胞和神经干细胞等多种细胞的生长^[10]。近期以石墨烯材料为代表的新型抗菌剂的研发为人们所关注^[11],以石墨烯材料作为抗菌材料可能对牙齿护理^[12]和伤口愈合^[13]有益,其抗菌活性除与其独特的物理化学特性、大小、形态和表面功能基团有关外,微生物类型、环境以及石墨烯材料与不同微生物成分之间的相互作用也有一定的影响^[14-16]。近年来基于石墨烯及其衍生物制备的远红外发射棉织物广泛应用于生物医疗以及人体保健等领域^[17-18]。石墨烯薄膜远红外线波长为 4~14 μm ,在远红外线波长范围内,石墨烯加热膜发热的红外线谱图和人体的红外线谱图有着相似的谱图特征(图 1)。石墨烯的能量峰值在 9 μm 左右,在科学界被称为“生命之光”,其医疗效果主要体现在热效应和非热效应这两种。



图1 石墨烯发热膜的红外线谱图
Fig.1 Infrared spectrum of graphene thermal film

肿瘤光热治疗是继手术、放疗、化疗和免疫疗法后又一重要的肿瘤治疗手段^[19-21]。热疗对肿瘤细胞的杀伤作用已为细胞学研究所证实,其临界温度约为 43 $^{\circ}\text{C}$ 。肿瘤热疗的基本原理是在对机体加热时,由于肿瘤组织自身的组织结构不健全,散热较正常组织慢,使肿瘤组织的温度较正常组织高出 5~10 $^{\circ}\text{C}$,而恶性肿瘤细胞对高热敏感,热疗后肿瘤细胞被杀死或逐渐凋亡,而正常组织不受损失^[22]。

远红外线的非热效应(图 2)是生物体中提供细

胞能量的方法,主要是三磷酸腺苷水解,而远红外线的振动能量与三磷酸腺苷水解的能量非常接近,远红外线的能量可以被蛋白质吸收并提供其能量,这个能量可以在人体内透过生化反应从一个巨分子传递到另一个巨分子,从而调控蛋白质磷酸化,调控蛋白质活性,实现能量共振传递,医学上可以提升细胞对抗逆境的能力,临床上可以改善血液循环、减缓疼痛、消除炎症、促进伤口愈合、提高机体免疫力等^[23]。

本研究中的石墨烯护颈带由石墨烯薄膜经电加

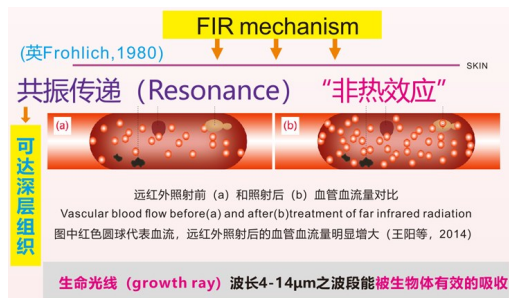


图2 远红外线的非热效应

Fig.2 Nonthermal effect of far infrared radiation

热至39℃,可发出与人体自发辐射红外线波长范围相一致的远红外,通过共振传递和温热效应渗透到人体皮下组织细胞深处,致使毛细血管扩张,从而改善微循环和促进损伤组织修复。滕艳杰等^[24]发现经中远红外线照射可以使荷瘤鼠肝脏内超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化酶活性明显升高,增强肿瘤宿主清除氧自由基的能力,从而减少对机体的损害。

本研究采用深圳烯旺新材料科技股份有限公司生产的石墨烯薄膜制作而成的护颈带进行甲状腺结节治疗,将远红外线治疗与热疗有机结合。研究结果显示,经过120d的治疗后,治疗组甲状腺结节MD和CSA均明显缩小,差异有统计学意义($P<0.05$),而对照组无明显变化;两组患者治疗前后甲状腺功能均无明显变化。表明石墨烯热疗对良性甲状腺结节有一定的治疗效果,并且对甲状腺功能无明显影响。

随着体检工作在我国广泛普及,甲状腺结节的检出率越来越高,部分病人由于对甲状腺结节的恐惧而导致心理压力增大,严重影响其生活质量。石墨烯热疗可缩小良性甲状腺结节,同时不影响甲状腺功能,试验过程中未见不良反应。石墨烯护颈带使用方法简便,佩戴时不影响一般工作及正常生活,是治疗良性甲状腺结节的一种新的方法和策略,具有良好的临床应用前景。

【参考文献】

- [1] 牡丹,张静波,任海林,等.北京45-50岁居民碘营养状况与甲状腺结节关系[J].中国公共卫生,2017,33(5):783-785.
DU D, ZHANG J B, REN H L, et al. Correlation between iodine nutrition and thyroid nodule among 45-50 years old residents in Beijing [J]. Chinese Journal of Public Health, 2017, 33(5): 783-785.
- [2] 徐小炮,姜涌斌,刘梅,等.健康体检人群甲状腺结节患病情况及相关因素分析[J].中华保健医学杂志,2018,20(3):210-212.
XU X B, JIANG C B, LIU M, et al. Analysis of the prevalence and relevant factors of thyroid nodules among physical examination population [J]. Chinese Journal of Health Care and Medicine, 2018, 20(3): 210-212.
- [3] 霍立双,刘丰雨,高琛,等.我国大陆地区甲状腺结节患病率Meta分析[J].河北医科大学学报,2017,38(2):138-141.
HUO L S, LIU F Y, GAO C, et al. Prevalence of thyroid nodules in mainland China: a Meta-analysis [J]. Journal of Hebei Medical University, 2017, 38(2): 138-141.
- [4] 郭奕瑞,刘颖,张莉.健康体检人群甲状腺结节患病率及相关因素分析[J].现代防医学,2016,43(22):4063-4065.
GUO Y R, LIU Y, ZHANG L. Analysis of the prevalence and relevant factors of thyroid nodule among the population undergoing routine physical examinations [J]. Modern Preventive Medicine, 2016, 43(22): 4063-4065.
- [5] 林璇,郎江明,魏爱生,等.健康体检人群甲状腺结节发病危险因素的病例对照研究[J].广东医学,2018,39(4):604-607.
LIN X, LANG J M, WEI A S, et al. Study of case control on risk factors of thyroid nodules among physical examination population [J]. Guangdong Medical Journal, 2018, 39(4): 604-607.
- [6] BRYAN R, HAUGEN, ERIK K, et al. 2015 American thyroid association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: the American thyroid association guidelines task force on thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: what is new and what has changed? [J]. Arch Intern Med, 2016, 156(19): 2165.
- [7] 中华医学会内分泌学分会,中华医学会外科学分会内分泌学组,中国抗癌协会头颈肿瘤专业委员会,等.甲状腺结节和分化型甲状腺癌诊治指南[J].中华核医学与分子影像杂志,2013,33(2):96-115.
Society of Endocrinology of Chinese Medical Association, Endocrinology Group of Surgical Branch of Chinese Medical Association, Head and Neck Oncology Committee of Chinese Anti-Cancer Association, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of thyroid nodules and differentiated thyroid carcinoma [J]. Chinese Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 2013, 33(2): 96-115.
- [8] KIM H, LEE D, KIM J, et al. Photothermally triggered cytosolic drug delivery via endosome disruption using a functionalized reduced graphene oxide [J]. ACS Nano, 2013, 7(8): 6735-6746.
- [9] BIONDI B, COOPER D S. The clinical significance of subclinical thyroid dysfunction [J]. Endocr Rev, 2008, 29(1): 76-131.
- [10] AKHAVAN O, GHADERI E, ABOUEI E, et al. Accelerated differentiation of neural stem cells into neurons on ginseng-reduced graphene oxide sheets [J]. Carbon, 2014, 66: 395-406.
- [11] VISWANATHAN S, NARAYANAN T N, ARAN K, et al. Graphene protein field effect biosensors: glucose sensing [J]. Mater Today, 2015, 18(9): 513-522.
- [12] HE J L, ZHU X D, QI Z N, et al. Killing dental pathogens using antibacterial graphene oxide [J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2015, 7(9): 5605-5611.
- [13] FAN Z J, LIU B, WANG J Q, et al. A novel wound dressing based on Ag/graphene polymer hydrogel: effectively kill bacteria and accelerate wound healing [J]. Adv Funct Mater, 2014, 24(25): 3933-3943.
- [14] LI J, WANG G, ZHU H, et al. Antibacterial activity of large-area monolayer graphene film manipulated by charge transfer [J]. Sci Rep, 2014, 4(3): 4359.
- [15] AKHAVAN O, GHADERI E, ESFANDIAR A. Wrapping bacteria by graphene nanosheets for isolation from environment, reactivation by sonication, and inactivation by near-infrared irradiation [J]. J Phys Chem B, 2011, 115(19): 6279-6288.
- [16] PHAM V T, TRUONG V K, QUINN M D, et al. Graphene induces formation of pores that kill spherical and rod-shaped bacteria [J]. ACS Nano, 2015, 9(8): 8458-8467.
- [17] 胡希丽,田明伟,朱士凤,等.基于石墨烯整理的远红外发射棉织物[J].成都纺织高等专科学校学报,2016,33(2):11-14.
HU X L, TIAN M W, ZHU S F, et al. Far infrared emitting cotton

- fabric based on graphene finishing[J]. Journal of Chengdu Textile College, 2016, 33(2): 11-14.
- [18] 曲丽君, 田明伟, 迟淑丽, 等. 部分石墨烯复合纤维与制品的研发[J]. 纺织学报, 2016, 37(10): 170-177.
- QU L J, TIAN M W, CHI S L, et al. Research and development of some graphene composite fibers and products [J]. Journal of Textile Research, 2016, 37(10): 170-177.
- [19] SAHU A, CHOI W I, LEE J H, et al. Graphene oxide mediated delivery of methylene blue for combined photodynamic and photothermal therapy[J]. Biomaterials, 2013, 34(26): 6239-6248.
- [20] DEMBERELDORJ U, CHOI S Y, GANBOLD E O, et al. Gold nanorod-assembled pegylated graphene-oxide nanocomposites for photothermal cancer therapy[J]. Photochem Photobiol, 2014, 90(3): 659-666.
- [21] YANG K, HU L L, MA X X, et al. Multimodal imaging guided photothermal therapy using functionalized graphene nanosheets anchored with magnetic nanoparticles[J]. Adv Mater, 2012, 24(14): 1868-1872.
- [22] 中日医学科技交流协会热疗专业委员会, 中华医学会放疗分会热疗专业委员会. 中国肿瘤热疗临床应用指南(2017.V1.1)[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(4): 369-375.
- Sino Japan Science and Technology Association, Chinese Medical Association Radiotherapy Branch Thermotherapy Specialized Committee. Chinese application guide of clinical application of tumor hyperthermia (2017.V1.1)[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(4): 369-375.
- [23] 吕晓宁, 李鸣皋. 远红外线生物学效应及其在组织修复中的临床应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(46): 9147-9150.
- LÜ X N, LI M G. Biological effects and clinical application of far-infrared rays in tissue repair[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2009, 13(46): 9147-9150.
- [24] 滕艳杰, 赵慧. 中远红外线对荷瘤鼠S-180肝脏MDA, SOD和GSH-Px的影响[J]. 黑龙江医药科学, 1999, 22(6): 8-9.
- XI Y J, ZHAO H. Effects of fat and middle infra-red ray on MDA, SOD and GSH-Px in the S-180 tumor rat [J]. Heilongjiang Medicine and Pharmacy, 1999, 22(6): 8-9.

(编辑:谭斯允)

石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝) 贴敷配合针刺治疗慢性腰腿痛

姜新生^{1,2}

【关键词】 腰痛； 针刺疗法； 物理疗法(专业)； 敷贴

腰腿部疼痛是临床常见的一种病证,属于中医学“腰痛病”和“痹证”等范畴。多因外邪侵袭腰府或外伤腰部,或由肾虚、血瘀等内因引导致血运行失调,脉络绌急,腰府失养导致的腰骶部、臀部及下肢部疼痛。涉及到现代医学的腰椎间盘突出症、腰肌劳损和骶髂关节紊乱、内脏疾病及癌性疼痛等多种临床疾病,该病发病率高,病因复杂,常反复发作,缠绵难愈^[1]。

石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝)贴敷配合针刺治疗腰腿痛患者疗效显著,将美国圣路易斯市东方康复中心自 2016 年 3 月至 8 月用石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝)贴敷配合针刺治疗 74 例慢性腰腿痛疾病为主的患者,并与单纯针刺患者治疗组 58 例进行疗效对照。研究发现石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝)配合针刺治疗疗效确切,并将典型病例报告如下。

患者女,79 岁。主因反复发作的左侧腰痛 3 年余。于 2016 年 3 月 12 日就诊于美国密苏里州圣路易斯市东方康复中心。3 年前发现患者劳累后左侧腰部疼痛加重,自行涂抹药油(黄道益活络油,每日 3 次)处理,疼痛症状未见减轻,越来越加重,疼痛难忍。半年前就诊于密苏里州圣路易斯市仁慈医院(Mercy Hospital St. Louis)检查,经医院射线、血液常规及尿液病原体检查,排除腰部外伤、腰椎间盘突出疾病等。西医诊断为左侧肾结核。经抗结核西药

治疗 6 个月后(药名不详),结核菌各项检查正常,当地医师认为治愈,可以停止药物治疗。但患者疼痛仍没有缓解,故于 2016 年 3 月 12 日就诊于本康复中心寻求康复治疗。刻诊:左侧腰痛,为持续性的紧缩感,反复发作,腰膝酸软无力。久站、久坐腰痛加重,稍事休息后减轻,下午、入夜前尤甚,体感发热(但体温测定正常),疼痛影响睡眠。体格检查:双侧腰部皮肤无红、肿、热、痛,无压痛,反跳痛,左侧后腰部肾区有叩击痛。记录疼痛数字分级^[2]为 8 级,行动稍受限。近期(2016 年 2 月 22 日)的相关影像学检查:X 射线检查除外腰部的骨外科疾病,彩色多普勒超声检查发现肾部有结核钙化灶,未见新增活动病灶。患者形体消瘦,神疲乏力,面色潮红,舌质淡,舌体瘦,少苔,脉细。中医诊断:腰痛,肾阴虚证。西医诊断:左侧肾结核。治疗原则:滋补肾阴,濡养筋脉。针刺取穴:肾俞、三阴交、委中穴,配以阿是穴、命门、太溪穴。操作过程:局部皮肤用 75% 乙醇棉球常规消毒后,用华佗牌毫针(产地:苏州华佗针灸器械总厂),直径 0.25 mm,长 10 ~ 40 mm,行毫针刺法。肾俞,直刺 0.5 ~ 1.0 寸,捻转补法 1 min;命门直刺 0.5 ~ 1.0 寸,委中直刺 1.0 ~ 1.5 寸,捻转补法 1 min;阿是穴、三阴交直刺 0.8 ~ 1.0 寸,太溪穴直刺 0.5 ~ 1.0 寸,捻转补法 1 min。用 YIN DI(英迪)牌 KWD 808 II 型电子针灸仪(产地:江苏常州英迪电子医疗器械有限公司),采用疏密波刺激,强度以患者耐受为度,留针 30 min,每日 1 次。7 d 为 1 个疗程。起针后,在上述穴位区域,外敷石墨烯远红外智能理疗护腰(烯旺新材料科技股份有限公司生产的(视不同穴位,为达到最好的贴敷效果,也可选用护膝,操作及档位选择类似),其主要的红外波长在 6 ~ 14 μm 之间,波峰 9.4 μm ,直流电

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-3240.2019.03.011

作者单位: 518057 广东深圳, 烯旺新材料科技股份有限公司健康管理中心¹; 63122 美国密苏里州圣路易斯市(Saint Louis), 圣路易斯市东方康复中心²

通讯作者: 姜新生, Email: chenw917@126.com

驱动电压 3.5 V, 功率 4 W。发热温度档位中档位(40~45℃), 持续 1 h, 每日 1 次。7 d 为 1 个疗程。治疗过程: 上述疗法持续 1 周后, 患者不再感到腰痛, 记录疼痛数字分级为 0 级。治疗 3 周后神疲乏力感消失, 随访未复发。

按语: 慢性腰痛, 病因复杂, 发病迁延难愈。许多患者滥用或长期依赖西药止痛剂, 药物停用后极易复发, 严重影响其生活质量。中医学认为慢性腰痛“经虚邪客”, 素有寒湿、湿热、瘀血、肾虚等成因。虚证中肾虚为本, 虚中挟实。针灸治疗慢性腰痛有较好疗效。本病例纵观舌脉及症状表现, 腰痛辨证为肾虚证, 辨证为肾阴虚。凡阴虚疾患, 下午症状更甚, 故本患者腰痛晨起稍缓, 下午、入夜更甚。临床行针辨证诊治, 以肝肾经穴位为主, 施中等强度滋阴补益针法。选用肾俞、三阴交为主穴, 滋阴补肾, 加用腰痛专穴委中穴。配以阿是穴、命门、太溪穴。诸穴联合应用, 达到滋补肾阴, 濡养筋脉之功用。除此之外, 以石墨烯远红外护腰(护膝)局部敷贴穴位, 功效等同传统中医灸法, 温通经脉、宣导气血。改善血液循环, 疏通经络之气, 增强进针的效果。

讨论 针灸疗法是中华民族传统医学宝库中的一颗灿烂的明珠。现代针灸在继承传统的基础上, 在经络、腧穴、针法、灸法等各方面都有重大新的发展。新的针灸器具不断推陈出新, 为针灸临床应用增添新的手段。红外线灸法, 又称腧穴红外线照射疗法, 是近年来出现的一种全新治疗方法。利用红外材料作为辐射源照射人体的经络穴位, 使经穴产生温热效应和红外辐射效应。与传统的艾叶燃烧灸法相比, 无明火、无烟雾, 安全、环保、不影响环境, 温度可控, 接触面积可调, 能大幅提高临床针刺的效率与疗效。

石墨烯材料具有优良的远红外特性, 使其成为远红外生物医学领域的研究热点之一。石墨烯材料能吸收和辐射高达 40% 的远红外线。波长 5.6~15.0 μm 的远红外线是人体生存的必不可少的因素。人体也是一个天然的远红外线辐射源和吸收体。远红外线的吸收机制是通过组织细胞分子中的碳-碳键、碳-氢键的伸缩震动, 其谐振波大部分在 3~15 μm, 波峰在 9 μm 左右, 与石墨烯材料发出的远红外线的波长和振幅相同, 能与机体引起共振效应, 增强细胞分子间的结合力, 活化蛋白质等生物大分子。共

振效应还可将远红外线的热能传递到人体皮下的较深部分, 作用于血管微循环系统, 加速血液循环, 强化各组织间的新陈代谢, 增强组织的再生能力^[3-4]。

以此法治疗 132 例慢性腰痛患者中, 其中针刺治疗加用石墨烯远红外线智能理疗护腰(护膝)贴敷 74 例, 两个月内痊愈 4 例, 显效 61 例, 愈显率占 87.8%。提示石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝)贴敷在减轻疼痛, 改善症状方面有显著效果。另外, 单独使用针刺治疗的患者有 58 例, 愈显率为 39.7%。可见, 石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝)贴敷, 配合针刺治疗可以明显提高慢性腰腿痛的治愈率, 特别是对那些用针刺起效慢的慢性患者, 或针刺后仍反复发作的患者起到辅助的治疗作用, 能促进尽快痊愈。在石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝)的使用方面, 观察发现多数患者在使用 1 周、2 周及 1 个月内见到疗效, 共 62 例, 占 83.8%。每天用 1~2 h 的患者, 疗效与用 3 h 的患者疗效相似。大多数患者喜欢用中档温度(40℃)或高档温度(55℃), 类似有中医灸法温热的刺激, 但应知道远红外线除加热效应外, 还有重要的非热效应。已有文章报道用远红外线激活人体水分子、改善循环、提高新陈代谢, 提高人体体温^[5]。鉴于远红外线具有激活水分子, 改善循环, 增强新陈代谢等确切机制, 国内外, 用远红外织物制成的绷带和敷料已经广泛应用于许多需要愈合的医疗条件和损伤, 并取得很好的医疗效果^[6]。

关于石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝)的确切作用机制, 推测主要是由于其发出的远红外线对人体显著的升温效应和共振效应, 提供人体很好的内能-气的产生, 促进人体经脉与络脉的功能; 作用于微循环系统和神经系统, 改善人体的脏腑功能和机体的免疫功能。本研究中还发现, 多个癌症患者用石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝), 得到较好的临床效果, 比如缓解疼痛, 促进夜间睡眠, 提高生命质量等。石墨烯智能理疗护腰(护膝)提升癌症患者的低体温, 增强免疫防御能力, 与促进癌症患者康复的确切关系, 还有待后续的进一步研究。

参 考 文 献

- 1 王思瑶, 黄奏琴, 陆李还. 陆李还针灸治疗腰腿痛临床经验[J/CD]. 中华针灸电子杂志, 2018, 7(2): 49-51.

- 2 PASERO C, MCCAFFERY M. Pain assessment and pharmacologic managemeng[M]. St. louis Missouri;Elsevier Health Sciences,2010.
- 3 王阳,水珊珊,王霞. 远红外在生物医学临床上的应用及其作用机制[J]. 科技导报,2014,32(30):80-84.
- 4 Yu SY, Chiu JH, Yang SD, et al. Biological effect of far- infrared therapy on increasing skin microcirculation in rats[J]. Photodermatol Photoimmunol Photomed,2006,22(2):78-86.
- 5 Inoué S, Kabaya M. Biological activities caused by far-infrared radiation[J]. Int J Biometerol, 1989,33(3):145-150.
- 6 Vatansever F, Hamblin MR. HamblinFar infrared radiation (FIR): its biological effects and medical applications[J]. Photonics Lasers Med,2012,4:255-266.

(收稿日期:2019-04-08)

(本文编辑:王伟)

姜新生. 石墨烯远红外智能理疗护腰(护膝)贴敷配合针刺治疗慢性腰腿痛[J/CD]. 中华针灸电子杂志,2019,8(3):122-124.

石墨烯智能理疗护膝对膝关节骨性关节炎的疗效观察

许祥生

镇江市中西医结合医院（镇江市第二人民医院 江苏镇江 212000）

【摘要】目的 观察石墨烯智能理疗护膝治疗膝关节骨性关节炎（KOA）的临床疗效，探索石墨烯远红外治疗膝关节骨性关节炎的新方法。**方法** 选取镇江市第二人民医院中医骨伤科门诊治疗的 KOA 患者 126 例，随机分为石墨烯智能理疗护膝治疗组（62 例）及止痛消炎软膏敷药治疗组（64 例）。分别观察两组治疗前后的临床疗效及三维步态分析结果。**结果** 1) 使用石墨烯智能理疗护膝的临床总体疗效明显优于对照组，石墨烯智能理疗护膝组的临床疗效优良率 88.7%；对照组 54.7%， $P < 0.05$ ，差异具有统计学意义。2) 使用石墨烯智能理疗护膝治疗的患者，治疗前后三维步态检测参数对比，三维步态明显改善， $P < 0.05$ ，差异具有统计学意义。结果显示，使用石墨烯智能理疗护膝后，能加快人体的膝关节的症状改善，促进下肢功能恢复。**结论** 石墨烯智能理疗护膝治疗膝关节骨性关节炎的临床疗效确切，无副作用，是一种简单、有效的方法。

【关键词】 膝关节骨性关节炎；石墨烯智能理疗护膝；

【中图分类号】 R473.6

【文献标识码】 A

膝关节骨性关节炎(knee osteoarthritis, 以下简称 KOA)又称膝骨关节病、退行性关节炎病,是一种常见的慢性、进展性关节炎疾病。其病理特点为关节软骨变性、破坏、软骨下骨硬化、关节边缘和软骨下骨反应性增生、骨赘形成。临床上以关节疼痛,僵硬,活动受限,活动时可有摩擦响声为特征,属中医“膝痹病”范畴^[1]。目前治疗 KOA 的方法大体可分为手术治疗和非手术治疗^[2-6],现有的诊疗方案中的疗效评价标准多为以患者主观感受作为评判标准的,缺乏科学的、客观的数值依据。

本研究通过石墨烯智能理疗护膝对 KOA 临床随机分组患者进行治疗,并利用三维步态分析系统分别对两组患者下肢关节的运动学参数变化特点进行分析研究,判断治疗方法的有效性,为石墨烯智能理疗护膝对 KOA 的疗效判定提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2018 年 5 月-12 月在我院中医骨伤科门诊就诊的 KOA 患者 126 例。其中男性 49 例,女性 77 例。年龄 40—85 岁,平均年龄 59.8 ± 5.36 岁。病程 1 个月—12 年,平均 2.2 ± 1.3 年。采用随机数字表法将 126 例 KOA 的患者随机分成两组。治疗 I 组:石墨烯智能理疗护膝治疗组 62 例,其中男性 24 例,女性 38 例,平均 58.7 ± 4.20 岁;治疗 II 组:敷药治疗组 64 例,其中男性 25 例,女性 39 例,平均 61.1 ± 4.72 岁。两组患者一般资料对比,差异无显著性 ($p > 0.05$)。

作者:许祥生,副主任医师。作者单位:镇江市中西医结合医院(镇江市第二人民医院);

地址:江苏镇江市润州区团山路 18 号,邮编 212000;联系电话:13927405975;E-mail:chenw917@126.com

1.2 选择标准 纳入标准：(1)符合西医诊断标准：中华医学会骨科学分会《骨关节诊治指南》2007 版诊断为 KOA。(2)符合中医瘀血阻络证候：膝关节疼痛剧烈，多呈刺痛感，久痛不已，痛处不移，痛处拒按，局部肿胀可有硬结或淤斑；或面色暗，肌肤干燥无光泽。舌、脉象：舌质紫暗或有淤斑；脉弦细涩。排除标准：①具有其它关节炎症表现的疾病，如类风湿性关节炎、强直性脊柱炎、痛风；②合并心脑血管、肝、肾和造血系统等严重危及生命的原发性疾病患者；③三个月内接受过激素治疗者；④正在接受其它相关治疗，可能影响本研究效应指标观测的患者；⑤孕妇及哺乳期妇女、精神病患者、不合作者。

1.3 方法

(1) 石墨烯治疗组：使用烯旺新材料科技股份有限公司产品的石墨烯智能理疗护膝，温度控制：40—42℃之间，每日两次，每次一小时。

(2) 敷药治疗组：根据肿痛的范围，将敷药专用桑皮纸折叠成八层，将药膏均匀的涂在纸上，贴敷在肿痛处。用纱布缠包，胶布封口。每天换药一次。

止痛消炎软膏(上海上锦制药有限公司生产)，主要成分：生草乌、独活、生天南星、水杨酸甲酯和冰片等。功效：具有消肿散结，祛风除湿，温经止痛，防腐生肌。

应用方法：以上两组均以 10 天为一疗程。

1.4 观察指标

1.4.1 总体疗效判定：各组患者于治疗前后，采用美国膝关节外科学会膝关节评分法(knee society score, KSS)对患者关节功能进行评定。将临床疗效分为优(≥ 85 分)、良(85—70分)、中(69—60分)和差(≤ 59 分)四个等级。

1.4.2 三维步态分析

步态分析应用于 KOA 中，可以精确记录 KOA 患者病变特点，评估治疗效果，提供最适宜的治疗方案及疗效评定等方面提供重要的参考依据^{[7][8]}。本研究中，采用章和电气有限公司生产的 Gait Watch 三维步态分析仪(请见图 1)，同步采集患者骨盆、髌、膝、踝各关节在矢状面、冠状面和垂直面的运动数据，并将其通过无线传输技术实时同步到电脑软件中进行步态分析。

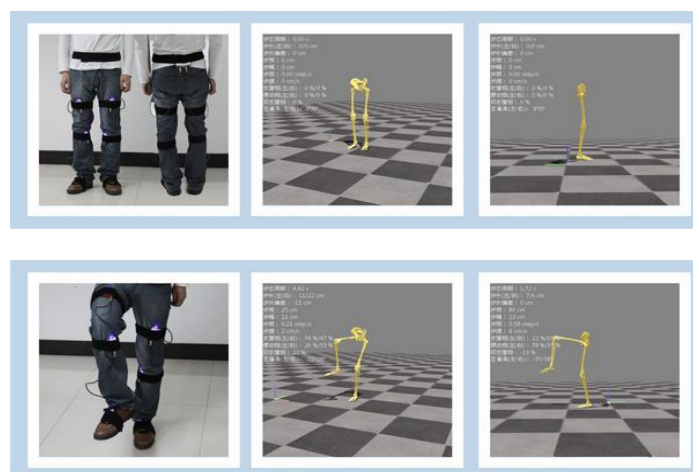


图 1. Gait Watch 三维步态分析

1.5 统计学方法

治疗前后两组的总体疗效情况比较，采用 SPSS 11.0 作 χ^2 检验；石墨烯智能理疗护膝治疗组治疗前后的三维步态分析数据，采用 SPSS 11.0 作配对 t 检验， $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组 KOA 患者治疗后的总体疗效情况，见下表 1。

表 1：两组 KOA 患者治疗后的总体疗效情况

组别	病例数	优	良	中	差	优良率 %
		≥ 85 分	70-85分	60-69分	≤ 59 分	
治疗 I 组	62 例	31 例	24 例	5 例	2 例	88.7%
治疗 II 组	64 例	8 例	27 例	17 例	12 例	54.7%

注：参照 1989 年美国膝关节外科学会评分系统 KSS 评分进行判断。

通过对两组 126 例 KOA 患者治疗后进行总体疗效分析，结果显示：石墨烯智能理疗护膝组的总体临床疗效优良率 88.7%；对照组 54.7%， $P < 0.05$ ，差异具有统计学意义。

2.2 两组 KOA 患者治疗后的临床主要症状缓解率情况比较，见下表 2。

表 2：两组 KOA 患者治疗后的临床主要症状缓解情况

组别	病例数	疼痛消除					压痛点消除					关节僵硬消除					关节肿大消除				
		10天	20天	30天	小计	百分率	10天	20天	30天	小计	百分率	10天	20天	30天	小计	百分率	10天	20天	30天	小计	百分率
治疗 I 组	62	12	23	20	55	88.7	10	21	27	58	85.4	30	23	3	56	85.7	29	26	4	59	88.9
治疗 II 组	64	5	11	21	37	57.8	9	15	20	44	76.1	8	17	22	47	61.8	9	15	21	45	72.9

组别	病例数	骨关节晨僵消除					关节无力消除					关节活动障碍消除					关节温度差变化 $< 0.5^{\circ}\text{C}$				
		10天	20天	30天	小计	百分率	10天	20天	30天	小计	百分率	10天	20天	30天	小计	百分率	10天	20天	30天	小计	百分率
治疗 I 组	62	10	25	22	57	91.9	8	22	26	56	90.3	28	24	3	55	88.7	13	28	12	53	85.5
治疗 II 组	64	3	10	21	34	53.1	8	17	24	49	76.6	5	13	28	46	71.9	11	18	22	51	79.7

通过对两组 KOA 患者治疗后的临床主要症状的缓解情况进行观察，发现石墨烯智能理疗护膝治疗组对于 KOA 患者常见的疼痛、关节僵硬、关节肿大、骨关节晨僵等八种症状具有良好的临床症状缓解率，并且都高于对照组。

2.3 石墨烯智能理疗护膝治疗组治疗前后的三维步态检测参数对比情况，见下表 3。

表 3 治疗组治疗前后三维步态检测参数对比情况

组别	步频(steps/min)			步态周期(s)			步幅(cm)			步速(cm/s)		
	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值
治疗前	101.87	3.080	0.004	1.21	2.795	0.008	104.43	3.939	0.000	90.04	4.223	0.000
治疗后	106.80			1.14			111.93			100.87		
组别	左步长(cm)			右步长(cm)			步长偏差(cm)			左支撑相(%)		
	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值
治疗前	52.02	3.099	0.003	52.41	3.859	0.000	5.35	1.459	0.045	60.76	0.048	0.046
治疗后	55.85			56.09			6.63			60.54		
组别	右支撑相(%)			双支撑相(%)			左摆动相(%)			右摆动相(%)		
	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值
治疗前	61.72	2.503	0.016	22.57	2.801	0.007	39.24	0.587	0.560	38.28	2.503	0.016
治疗后	60.70			21.13			39.46			39.30		
组别	左髌屈曲最大值(°)			右髌屈曲最大值(°)			左髌伸展最大值(°)			右髌伸展最大值(°)		
	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值
治疗前	35.13	0.345	0.032	32.43	0.377	0.078	-8.37	3.117	0.003	-7.41	3.267	0.002
治疗后	35.52			32.11			-11.33			-10.91		
组别	左膝屈曲最大值(°)			右膝屈曲最大值(°)			左膝伸展最大值(°)			右膝伸展最大值(°)		
	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值	均值	t 值	P 值
治疗前	56.24	0.395	0.291	55.39	0.317	0.053	10.46	2.586	0.013	9.87	2.505	0.016
治疗后	55.15			54.87			8.46			7.89		

从上表 3 可知，经使用石墨烯智能理疗护膝治疗的患者，经三维步态分析的各项指标如步频、步态周期、步幅、步速等指标，前后比较， $P < 0.05$ ，差异具有统计学意义，其三维步态改善明显。

3 讨论

本研究结果证实，使用石墨烯智能理疗护膝治疗后，能够加快 KOA 患者膝关节的症状改善，而使得步态稳健，促使下肢功能恢复。使用石墨烯智能理疗护膝的所有临床观察病例均未见皮肤过敏、人体不适等副作用产生。石墨烯智能理疗护膝的疗效确切，无任何副作用，对人体的医疗保健是安全可靠的。

石墨烯智能理疗护膝的远红外线对人体的特殊之处在于它对人体皮肤、皮下组织具有一定的穿透力和较强的温热效应。当远红外线辐射人体时、人体的皮肤和皮下组织的温度就会相应增高，经机体经络的传导产生温灸效应，行气活血、温中散寒、祛风胜湿、消肿散结。同时，远红外线引起人体细胞活化作用，其原理是在于远红外线可对细胞产生共振作用^[9-11]。

当远红外线作用于细胞时,引起细胞内外水分子的振动,把人体内老化了的大分子团的水变成较小分子团的水,使水分子及蛋白质活化,激活细胞;作用于局部、可使微血管扩张、血流加速并开通侧枝循环,改善微循环障碍,提高细胞组织的供血、供氧量,加速炎性渗出物的吸收和消散,加强新陈代谢使人体处于极佳的健康状态。

目前市面上的理疗发热材料有许多种,但是石墨烯发热材料的独特性在于它所发生的远红外的波长指数(峰值9 μm左右)是最接近人体的,与人体的细胞组织易产生共振效应,从而更能促进体内的组织新陈代谢,促使损伤的组织修复,达到康复的目的。笔者查阅了相关的信息资料,目前,还没有任何发热体材料达到石墨烯与人体组织的高度融合。这也是石墨烯智能理疗护具的独特之处,它的推广应用,将会给广大患者带来福音。

参考文献

- [1] 薛挺. 膝关节骨性关节炎的治疗体会[J]. 中国社区医师(医学专业), 2012, 14(23):181.
- [2] 曹梦, 毛红蓉. 经筋齐刺配合电针治疗膝骨性关节炎 36 例[J]. 中医外治杂志, 2017, 26(5):11-13.
- [3] 曾子全, 赵传喜, 刘文刚. 等. 中药穴位注射治疗早中期膝关节骨性关节炎的近期疗效观察及肌力分析[J]. 现代医药卫生, 2018, 34(20):3114-3118.
- [4] 周鑫, 李远栋, 杨光, 等. 骨康胶囊联合依托考昔治疗膝关节骨性关节炎[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2018, 24(5):556-559.
- [5] 李炎星, 武军龙, 崔国峰. 关节镜下膝关节清理联合腓骨截骨术治疗膝骨性关节炎效果观察[J]. 河南医学研究, 2018, 27(15):2823-2824.
- [6] 张李萍, 邹忠. 膝骨性关节炎近年中医外治法进展[J]. 中医外治杂志, 2015, 24(1):47-49.
- [7] 裴开源, 刘爱峰, 杨硕. 膝骨性关节炎步态分析研究进展[J]. 吉林中医药, 2016, 36(5):533-537.
- [8] 王韬, 张霆, 侯炜, 等. 膝骨关节炎步态分析特征[J]. 老年医学与保健, 2017, 23(2):133-136.
- [9] 王阳. 远红外在生物医学临床上的应用及其作用机制[J]. 科技导报, 2014, 32(30):80-84.
- [10] Yu S, Chiu J, Yang S, et al. Biological effect of far- infrared therapy on increasing skin microcirculation in rats[J]. Photodermatol Photoimmunol Photomed, 2006, 22:78-86.
- [11] Shojiro Inoue, Morihiro Kabaya. Biological activities caused by far-infrared radiation[J]. Int J Biometerol, 1989, (33):145-150.

红外线的生物效应及临床应用

冯晓星^{1,2}, 李 琰¹, 俞 航¹, 葛彬杰¹

(1. 深圳大学 计算机与软件学院深圳物联网专用集成电路设计工程实验室 深圳 518060;

2. 深圳市知本石墨烯医疗科技有限公司 深圳 518057)

摘要: 红外线 (Infrared Ray) 由德国科学家霍胥尔于 1800 年发现。红外线的波长大于可见光又小于微波。红外线对生物体的有益效应有很多, 分为热生物效应和非热生物效应, 如中近红外主要被生物体内的水分子所吸收并破坏分子间的氢键, 使水达到“活化”效果。而吸收的远红外线可以引起蛋白质分子中如酰胺键的量子振动, 使生物能量顺利传递, 加强生命体处于正常状态的能力。红外疗法对多种疾病均具有作用: 伤口愈合、活血化瘀、糖尿病足溃疡愈合、治疗高血压、舒解精神压力、抑制疼痛、增进睡眠质量、降低血糖等症状均有疗效。

关键词: 红外线; 生物效应; 临床应用; 远红外

Biological Effect of Infrared Ray and Its Clinical Application

FENG Xiaoxing^{1,2}, LI Yan¹, YU Hang¹, GE Binjie¹

(1. Shenzhen Laboratory of IC Design for Internet of Things, College of Computer Science and Software Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 2. Shenzhen KGM Company Ltd.)

Abstract: Infrared ray was discovered by German scientist Hoshel in 1800. In the solar spectrum, the infrared wavelength is between visible light and microwave. Infrared has multiple beneficial effects to the organism, which are divided into thermal and non-thermal biological effects. Near infrared is mainly absorbed by water molecules which causes destruction of intermolecular hydrogen bonding, and the water will be activated. The absorption of far infrared rays will cause the quantum vibration of amide bonds in protein molecules. Therefore, the biological energy can be smoothly transferred from one place to another, which will keep life in normal state. Infrared therapy has a beneficial effect on various diseases: wound healing, blood circulation, diabetic foot, hypertension, relieve stress, bad sleep quality, pain, hyperglycemia and so on.

Key words: infrared, biological effect, clinical application, far infrared

0 引言

红外线天然存在于太阳光线中, 德国科学家霍胥尔于 1800 年发现了红外线。在太阳光谱中, 红外线的波长大于可见光又小于微波, 波长范围为 0.75~1000 μm 。红外线可分为三部份, 波长为 0.75~1.5 μm 间的近红外, 波长在 1.5~6 μm 之间的中红外, 以及波长为 6~1000 μm 之间的远红外。

红外线对于生物体可产生温热效应, 达到促进血液循环、改善微血管循环不良、促使组织生长与再生等作用, 红外线不仅可以促进生物体的生长发育, 在医疗上亦可用于辅助治疗工具, 例如: 伤口止痛愈合、活血化瘀、糖尿病足溃疡愈合、治疗高血压、舒解精神压力、抑制疼痛、增进睡眠质量、降低血糖等症状均有疗效。

红外线因为在临床上发现有众多对人体有益的效应, 近年来已经得到了学术界和企业界越来越多的关注。但是红外线对人体的作用机理并不完全清晰, 理论不够完善, 需要研究者继续探索。

本文首先介绍了红外线的生物效应,分别阐述了中近红外和远红外对生物的作用,然后在细胞和分子级别探究其可能的作用机理。其次,文章分析了目前红外疗法适用的病症和疗效。文章的最后一部分是对目前技术和应用的总结和展望。

1 红外线的生物效应

1.1 远红外对水的活化作用

广西巴马县是世界著名的长寿之乡,在巴马居住着百岁以上的寿星 76 位。巴马的长寿现象吸引着诸多中外科学家对此地进行实地考察。研究表明巴马的长寿现象与当地的阳光、空气、地磁、风景等因素有着千丝万缕的联系,而其中水则是至关重要的因素,巴马的长寿水主要包括长寿泉、长寿河、长寿湖。由于强大的地磁作用,使巴马的水变成小分子团的六环水^[1]。

研究表明^[2],水分子簇越小,水分子所含有的氢键势能越高,水分子簇所具有的动能就越大,以小分子簇为主体的水,所具有的溶解力、渗透力、代谢力、扩散力等物化性质均有所增强。小分子团水能够使水在生物体中的作用发生变化,减少水分子簇中水分子的个数,可以增加水的生物膜透过率,增强生物体的新陈代谢以达到改变生物体技能的效果。天然的小分子团水由 5~8 个水分子组成,在非常罕见的自然条件下形成,产地极少。水是一种极性分子,相邻水分子之间相互吸引形成氢键,由此缔合而成水的大聚集体,即水分子簇。由此可知,想要形成小分子团水,就需要减少水分子间的缔合,通过外加能量影响来影响氢键的作用,已达到改变水分子簇大小的目的。目前,常用外加磁场法、外加电场法、激光辐射法和直接加热法等方法改变水分子大小。

水中存在大量的弱氢键,这种弱氢键势能面限制了相邻氢键的势能,并且可以持续几个分子层,在高温下($>100^{\circ}\text{C}$)弱氢键可以被观察到,能量在 17~23 kJ/mol,此时大部分氢键被破坏,弱氢键则显示出很强的弱化协同作用能力。氢键的强度主要取决于 OH 的键长和键角。当键角在 20° 范围内氢键的强度基本呈线性变化,而氢键的键长是影响其强度最为重要的因素,随着氢键键长的增加,氢键强度呈指数衰减。随着温度的升高,氢键具有明显变弱的趋势,氢键数量减少,簇中氢键的断裂及部分水分子的脱离使得水分子簇变小。

研究表明,分子间氢键的振动频率在远红外区($10\sim 500\text{ cm}^{-1}$),也有人认为 350 cm^{-1} 以下为液态水分子转动的频率区,其实两者往往是交织在一起。当此波长范围内的远红外线作用于水时,根据振动频率相近快速传能原理,远红外线与水分子产生共振,把某些缔合水分子的氢键打开而变成小的水分子团。也就是说,水在远红外辐射的作用下,水的缔合大分子团发生裂解分离,由原来的数十个或更多分子组成的水分子团簇变成由 6~8 个水分子组成的小团簇,即小分子团水。

水分子团簇变小,水的溶解力、渗透力、代谢力、扩散力、乳化力均提高,从而具有“活化”作用,小分子团水可以增强生物体的新陈代谢、血脂代谢、酶活性以及免疫功能,这样的水也被称为活化水^[5]。活化水因其水分子团簇结构变小,溶解氧的能力增加,并可以产生一定量的超氧阴离子自由基,适量的超氧阴离子自由基具有增强代谢贮能、转化排废的作用,小分子团簇的水进入细胞内,可促进细胞的新陈代谢,增强细胞活力,又因其粘度低,方便了营养物质的分配和废物的排泄。

通过对大鼠动脉粥样硬化的实验研究发现^[6],当这种活化水进入大鼠的血液循环系统后,本身可以起到降低血液粘度的作用^[7],又因活化水对氧的溶解能力增强,可使血液中水的含氧量增高,进而激发红细胞膜及血管平滑肌细胞膜 ATP 酶的活性,增强血管壁的弹性和红细胞的形变能力,从而产生增强血液流变特性的作用。由于活化水的渗透压高于普通水,有利于物质通过生物半透膜^[8],使离子转运通道畅通,促进细胞内 Na^+ 、 Ca^+ 离子外流,这可在一定程度上使高胆固醇血症患者体细胞内 Na^+ 、 Ca^+ 离子浓度过高的现象得以缓解。Rotzinger^[9]研究发现,六水分子簇可与 V^{2+} 、 Mn^{2+} 等金属离子形成六水合物,金属离子被包埋在 6 个水分子中央,并通过热力学计算,证明了这种结构的稳定性。这种六水合物可以较好的通过水溶性膜,具有一定的运载功能。

水在参与生物体物质能量循环过程中,对生物体功能的影响分子结构和运动状态。因为在各种生化反应中,水是以分子簇的形式存在并参与反应,水的微观结构和运动状态影响了生物大分子的物化性质及生物活性。

Davey^[10]等人的研究发现,在核小体内部,蛋白质与DNA之间通过与水分子的氢键作用形成氢桥,维持蛋白质-DNA的空间构型,其中水的结构可以帮助解释与蛋白质相连的DNA三维构象的转变方式。

细菌视紫红质(bacteriorhodopsin,简称bR)是嗜盐菌体内的一种蛋白质,它能将光能转变成质子梯度,用于促进ATP的合成。在bR内部有8个排列有序的水分子充当氨基酸之间的质子传递链,同时也起到维持bR基态结构稳定性的作用^[11]。

热容量是表征生物大分子活性的一项重要指标,其大小反映了生物体对体内温度环境的适应程度。生物大分子内部结合水的团簇结构不同,其热容量也有很大差别^[12]。赵林^[13]采用DSC方法对以不同结构水和十二烷基硫酸钠溶液水合溶菌酶样本对蛋白质热变性前新峰形成机制进行了探讨,结果表明:蛋白质的这种热变性前新峰的存在是由于维持其三级结构的疏水相互作用力所造成,新峰出现的峰温及其焓变与水的结构改变及由此而造成的蛋白质中结合水含量和结构功能的变化有着直接的关系。在进一步的实验中发现,水的六环结构具有最稳定的结构能,可以在溶菌酶分子周围形成六角笼形氢键网络,使其三维结构更加稳定,热变性温度提高8.47K。

Finney^[14]等人对球形蛋白质中水的结构和动力学进行了研究,认为水不仅起到所谓的疏水作用的被动角色,它还对蛋白质的折叠和缠绕起到提供自由能及形成氢键、参与蛋白质三级结构形成的作用。另外,他还总结了用不同技术测得的溶菌酶和血红蛋白的结合水量,结果发现不同蛋白质中的结合水量是不同的,由此认为可以通过生物组织中结合水的研究来估计组织结构及生物特性。

综上所述,红外线,尤其是远红外线辐射是一种有效的减小水分子团簇结构的方法,是通过破坏分子间的氢键实现的。水分子团簇结构变小后作用于生物体,可以增强生物体的新陈代谢、血脂代谢、细胞活力、酶活性以及免疫功能,同时能够提升体内营养物质的分配和废物的排泄。

1.2 中近红外的热生物效应

生物对红外线最直接的感受就是热,这种热效应是生命体的某些成分在吸收了红外线后,把这部分光能转变为自身无规运动的结果。研究红外线的热效应的机理,首先要明确是那一部分主要接收了红外线而发热。生物大分子的蛋白质、DNA、RNA及糖类和脂类分子等都是分子量大,所吸收的红外线的能量是不足引起这些大分子的无规热运动的,因此也不可能有足够能量去把组成这些大分子的氨基酸残基、碱基、磷脂、核糖等从他们相互紧密相关的和高度有序的大分子中剥离出来,从而产生无规热运动。排除了大分子,剩下的唯一对象就是水分子,它是生命体中普遍存在的生物小分子,吸收的红外线是可以引起它的无规热运动^[15]。

每个生命体内部存在大量的水,它们分布在生命体的各个部位,如细胞内、细胞间、组织内和血液中。从日常生活的经验知道红外线照射水,水温就会升高,说明水能吸收红外线。精确的实验测量证明了水能吸收波长为1~3 μm 左右的红外线,如2.82 μm ,2.77 μm 等等,基本处于中近红外部分。研究表明,这些就是OH键或HOH键伸缩振动的第一激发态能量^[15]。水在生物体内的重要性不言而喻^{[16][17]}。

1) 在生物体中的水出现的游离形式和由它极化状态形成的离子水合效应、生物分子的疏水和亲水性效应是生物水存在的主要形式。

2) 水是细胞分裂、繁殖的基础。

3) 水为各种生物化学反应顺利进行提供了保障条件。一切生命活动相关的生物化学反应都必须在水溶液中进行。

4) 水为微生物和大分子的构象变化提供适当的生物环境。

5) 水的循环保证了生命体发育所需要的生理温度。生命体中的成分,包括细胞和生物大分子都必须生活在生理温度300~310K之间。如果这个温度高过,细胞就要凋亡、衰老,蛋白质就要变异和离化。

6) 血液循环和微循环的顺利进行的条件。白血球、红细胞、血小板及血红细胞存在于含有大量水的血浆中。有水的血浆的流动才带动血红细胞携带大量氧气和营养循环于体内。这种在血管或毛细血管中流动的血液是着床于有水的细胞膜和细胞间的。

当生命体中的液态水吸收一定波长的红外线后，便可引起 OH 或 HOH 键的振动。同时，会破坏氢键，从而使氢键系统中的水变成单个的水分子，并使每一个水分子的内能增加，这部分能量很难转化成生物组织所需要的生物能，只能用来增加每个水分子无规运动动能，从而使水的温度增高。这就是红外线的热效应。

被红外线加热了的生命体中水后会产生生物效应如下：

1) 水的温度在一定范围内的升高会加速细胞的分裂和繁殖。因为细胞分裂、繁殖的速率随温度升高而增大。这对于处于分裂和繁殖的细胞是有好处的。对于未激活的细胞也可以促进它的激活。但对于处于凋亡、衰减的细胞也会加速它的死亡。

2) 水温的升高会加速生化反应的进程。这可以从两个方面来说明。一是水温升高会使参加化学反应的分子的运动速度增加，从而加速了反应的进程。二是在生化反应中都需要酶的参与。在水温升高时，加速了酶从溶酶体逃逸的速度，缩短了与基物接触的时间。

3) 温度升高改变了细胞膜上的结构和离子通透性。在温度上升时，脂双层会变软，通透性会急剧增加，从而改变了相应的生命过程。

4) 温度升高促进了血液循环和微循环。

5) 水温的升高，可增强生物大分子的亲水蛋白质分子和 DNA 的构象变化或状态改变，从而可提高它们的生物功能。

综上所述，当中近红外线照射在包括人体在内的生命体上时，被体内分布于细胞间、细胞膜、细胞质与细胞核和血液中的水吸收后，会引起水分子的 OH 或 HOH 键的振动，从而可把红外线能转化为水分子无规运动的热能，使水温升高，于是会引起处于水环境中的细胞分裂和繁殖增加，使生化反应的速度和酶的活性增强，同时使蛋白质分子和 DNA 等生物大分子的构象变化增强，并使血液流动速度增加。微循环和血液循环改善。这就是由水的升温热效应造成的生物效应，也是红外线的热生物效应。

1.3 红外线的非热生物效应

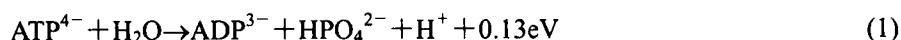
要研究红外线的非热生物效应，必须从蛋白质的分子结构及生物能量传递的机理及理论说起。

所有生命体包括细胞从分子水平上讲都是由蛋白质和 DNA 组成的，DNA 是遗传物质，而蛋白质分子的一个生物功能就是输送生物能量，使肌肉发生收缩，并使 DNA 的复制变成可能。上述问题与蛋白质分子的状态和结构变化相关，所以我们应当对蛋白质分子的结构、特性和功能作深入研究。要说明生命体的生物能量传递的机制和特征以及吸收红外线所产生的生物效应等问题，必须使用非线性理论并从蛋白质的分子结构出发来计算蛋白质分子的能谱分布。

各种蛋白质分子都是由 20 多种不同的氨基酸构成的，而后者又是由氨基 NH₂ 和羧基 COOH 及粘附于 α 碳原子上的侧基 R 组成的。侧基对于不同的氨基酸是不同的。两个氨基酸分子结合在一起释放出一个水分子，靠肽键连结成一个长链，组成了蛋白质的一维结构，长链分子折叠成具有 α 螺旋结构、β 片和球形等 3 种不同的三维空间组态，如图 1 所示。

在 α 螺旋结构中，三条多肽长链沿纵轴方向缠绕，靠其中的氢键支撑成为三维的螺旋形构型，如图 2 所示。

在 β 片中，长链“编织”成长带；在球形组态中，长链无规则地折叠而成为近球状。在一般情况下蛋白质分子的空间组态是 α 螺旋形和 β 片，但其结构常以随机组态为标志。对于蛋白质来讲，其活性和功能的能量供给主要由附着在蛋白质分子上的三磷酸腺苷 (ATP) 分子所发生的如下的水解反应时所释放的 0.43 eV 能量：



了孤立子, 由于孤立子的特性, 它可以携带此生物能量从一个地方沿蛋白质分子, 保持形状、能量、动量和其他准粒子特征不变地传到另一个地方。庞小峰^[19]在 Davydov 理论上提出了小极化子—振子孤立子新模型。在这个模型中, 系统的哈密顿量用了一个非线性的小极化子模型来表示, 不但全面考虑了 Davydov 模型的相互作用能, 而且考虑了相邻酰胺键之间的相互作用导致的氨基酸残基位置的相对改变。

由 Davydov 模型和 Pang 模型所求出的能级值及相应的实验数据列于表 1。从表 1 的能级分布可以很方便地看出蛋白质分子能级分布的特点:

- 1) 对于同一个主量子数 n 对应着多个不同能级, 随着 n 的增加能级之间的间距越来越小。
- 2) 蛋白质振动呈现出强烈局域模图像, 能级的局域模简并在 $n \geq 4$ 的高激发态时出现。

表 1 的结果告诉我们, 即通过酰胺键的振动蛋白质分子, 能且仅能吸收或发射出 $1 \sim 3.5 \mu\text{m}$ 和 $5 \sim 7 \mu\text{m}$ 波长和强度为 0.2 eV 、 0.4 eV 和 0.8 eV 的红外线。

从以上的生物能量传递机制和特点及一系列的研究结果看出, 吸收的红外线可以引起蛋白质分子中的酰胺键键的量子振动。从而可使生物能量顺利地从一个地方传递到另一个地方, 使生命体处于正常状态, 保持生命体的生长、发育及健康。显然, 这种生物效应是红外的非热效应。维持生命系统正常运行的生物能量是由 ATP 的水解提供的。但是一旦 ATP 分子或 ATP 酶或水不足, 或者蛋白质的结构和构象改变或畸变等等原因, 便可使提供的生物能量不足以引起酰胺键的正常振动或生物能量不能正常传递, 生物组织在得不到足够能量时, 便不能正常生长, 会诱发出各种疾病。在这种情况下, 若能用具有上述波长的红外线照射, 并能被蛋白质吸收, 就可以使蛋白质分子恢复正常并维持传递生物能量, 从而使生物组织从病态恢复到正常状态, 使疾病得到治疗, 因此红外线对生物, 包括人有重要的生物效应和医学功能。在红外线医疗仪的临床试验中也证明, 对生物体或人有一定医疗效果的红外线也正好是在此波长范围内, 即 $1 \sim 15 \mu\text{m}$ 。这就是红外线的非热生物效应和医学功能的机理的描述。

2 远红外线生物学效应的临床应用研究

红外线可被体表浅表组织吸收, 有显著干燥脱水作用, 使局部组织血液循环加快, 起到消炎镇痛作用。临床上采用局部外用红花油加远红外线照射来治疗褥疮, 发现疗效好且见效快^[23]。利用远红外线对带状疱疹进行治疗, 结果止痛、止疱和结痂时间均短于对照组^[24]。有实验表明, 生物陶瓷远红外线对烧伤治疗具有显著疗效。对损伤疼痛的治疗, 以慢性软组织损伤疗效最好^[25]。临床护理观察发现, 在传统的纺织品材料中加入超细石墨烯颗粒制成的远红外线护具如护腰、护膝、护肘、护腕、颈围等, 在消炎、消肿、活血、止痛、通经活络、改善微循环方面有显著效果。比硫酸镁湿热敷、热水袋热敷及药物封闭等方法效果好, 同时可以避免因封闭给病人带来的痛苦^[26]。新生儿红臀和溃疡以往多采用外用消毒药物洗涤及保持干燥等方法加以防治, 疗效差且易复发。采用远红外线辐射加温床对红臀和臀部溃疡患儿进行治疗, 治疗组和对照组相比, 平均治愈时间缩短, 有效率更高^[27]。新生儿硬肿症治疗中的复温问题是治疗能否成功的重要环节, 过去采用普通暖箱逐渐复温效果较差, 现在采用远红外线快速复温后患儿病死率明显下降, 抢救成功率显著提高^[28]。

皮瓣坏死是整形外科等临床上常见的术后并发症, 主要是因为微循环障碍, 目前尚无理想的防治办法。姜平等通过活体直接观察大鼠背部随意皮瓣的微循环变化, 探讨了 $2.5 \sim 15 \mu\text{m}$ 波段的远红外线对皮瓣成活的影响。发现远红外线局部辐射具有类似于血管扩张剂的生物学作用, 能改善微循环提高皮瓣成活率, 且在治疗剂量范围内无明显副作用^[29]。

日本有学者报道使用直线偏振光红外线治疗多种类型的斑秃有明显疗效^[30]。直线偏振光近红外线用于风湿性关节炎引起的颞下颌关节痛治疗疗程短、疗效好^[31]。变形性关节炎采用点式直线偏振光近红外线治疗仪照射治疗和传统的局部神经阻滞治疗相比较, 虽然近红外线组治疗次数多于传统神经阻滞组, 但治疗范围广, 可避免局部神经阻滞治疗给病人带来的痛苦, 显效率较高, 作用持久不易复发。其机理可能为光照起到光电能的刺激作用, 电磁波作用及光化学作用, 因而能抑制神经的兴奋、松弛肌肉、舒张血管、增加血流, 促进淋巴循环, 促进活性因子的产生, 从而起到治疗作用^[32]。

表1 蛋白质分子振动量子能谱 (单位 cm^{-1})

序号	类型	实验值 ¹	计算值 ²	计算值 ³
1	A ₁	1666.0	1666.1	1666.2
	E	1650.0	1627.1	1628.1
2	A ₁	3150.3	3228.85	3170.48
	E	3216.1	3250.956	3197.12
	E	3250.0	3303.46	3254.75
	A ₁	3280.0	3319.56	3288.14
3	E		4795.08	4675.05
	E		4804.68	4677.93
	A ₁	4752	4865.536	4775.67
	A ₁	4803.0	4890.0	4802.03
	A ₂		4933.10	4845.39
	E	4864.0	4972.72	4858.25
	A ₁	—	4972.51	4904.31
4	E	6173	6316.43	6104.43
	E	6225	6317.32	6273.40
	A ₁	6304	6417.05	6290.77
	A ₁		6438.46	6314.44
	A ₂	6354	6464.93	6326.84
	E		6478.18	6338.44
	E	6408	6517.78	6404.01
	A ₁		6539.50	6427.31
	E		6547.45	6482.55
	A ₁		6592.68	6489.57
5	E		7784.11	7463.41
	E ₁		7784.62	7463.43
	A ₁		7941.89	7463.43
	E		7951.74	7713.48
	E		7951.74	7717.28
	A ₂		7973.12	7718.28
	E		8793.12	7741.28
	A ₁		8980.83	7745.45
	A ₂		8030.55	7834.16
	E		8045.86	7844.67
	E		8083.31	7910.96
	A ₁		8105.40	7913.57
	E		8118.44	7921.43
	A ₁		8130.21	7956.91
	E		8179.85	8017.11
	E ₂		8204.47	8049.87
	E		8204.47	8049.87

注: 1. 实验值源于参考文献[18-22]; 2. Davydov 模型计算结果; 3. Pang 计算结果

有人对 66 例心脑血管病人经低温激发远红外线治疗前后的血液粘度进行观察,发现低温激发远红外线具有以低温热功率效应为主的广泛的生物学效应,能降低心脑血管疾病患者的血液粘度、防止血栓形成,改善微循环,减轻胸闷、心悸、头昏、麻木等症状^[33]。

近红外线治疗对 CAH 患者免疫功能有一定调节作用,患者 SG、IgG、 γ 球蛋白下降, ANA、RF 转阴, SA、CH50、C3 上升, 体液免疫有正常化趋向^[34]。红外线辐射还能促进 Con-A 诱产生 L2 的作用, 显著提高大鼠脾细胞的 ADCC 效应, 使小鼠对 PHA 刺激的 T 淋巴细胞转化率增高, 脾指数增大, 提高小鼠外周血中淋巴细胞的数目和脾内巨噬细胞的数目 I 枷, 对机体 自由基代谢及 NK 细胞活性也有良好影响。

应用红外线照射膀胱区治疗尿潴留和其它药物疗法相比, 产妇无痛苦, 不增加产后出血量, 易被产妇接受。红外线作用于皮肤后, 被吸收的能量转化为热能引起皮温升高, 刺激皮肤内热感受器, 通过丘脑反射使血管平滑肌松弛, 血管扩张, 血循环加强, 促使渗出液吸收, 利于炎症消退, 减轻肌肉的紧张和痉挛, 因而对尿潴留治疗效果明显^[35]。

盖启凤等用波长 2~25 μm 的远红外线照射下腹部压痛区 (包括气海、关元、带脉等穴位) 来治疗盆腔炎性包块, 患者 62 例, 均经妇产科临床检查与 B 超确诊, 均有下腹部疼痛及压痛, 妇科检查均触到囊性包块, 痊愈显效率 88.6%, 总有效率 96.6%。远红外线照射治疗盆腔炎性包块可以增加局部的微循环功能, 增强白细胞的游走和吞噬能力, 促进炎症吸收^[36]。

有人采用远红外线照射治疗小儿肠痉挛 208 例, 发现其疗效明显优于药物治疗, 且简便易行, 无副作用, 儿童乐于接受^[37]。

红外辐射对糖尿病兔的高血糖症有明显的缓解作用^[38], 其代谢调节机制为对环核苷酸环化酶 (AC) 活性抑制的同时激活磷酸二酯酶 (PDE) 活性, 使环磷酸腺苷 (cAMP) 合成受阻而水解加速, cAMP 水平下降, 血糖随之降低。

有人通过体内实验探讨了远红外线对荷瘤鼠 S18 大脑内源性鸦片类物质的影响^[39], 发现应用中远红外线治疗各组大脑 β -内啡肽、亮氨酸脑啡肽含量明显增加。脑啡肽能中间神经元被认为能与痛觉传入轴突形成轴-轴突触, 能产生有力的抑痛作用。这为临床上应用中远红外线治疗和减轻肿瘤患者疼痛和缓解带状疱疹、肢体疼痛提供了理论依据。

在许多疾病状态下, 由于活性氧产生过度或抗氧化酶类活性降低, 可引起脂质过氧化反应损伤细胞膜并进而导致了细胞死亡。有资料表明, 肿瘤宿主清除自由基的能力降低, 表明天然抗氧化剂的抗氧化酶不足。滕艳杰等通过体内实验, 探讨了中远红外线治疗对荷瘤鼠肝脏自由基代谢的变化, 发现应用中远红外线治疗, 肝脏 SOD、GSH-Px 活性明显升高, MDA 含量明显降低。MDA 是双键脂肪酸过氧化产物, 它的含量反应了脂质过氧化物的浓度。中远红外线由于活化细胞而使荷瘤鼠肝脏组织 MDA 含量明显减少, 肝脏 SOD 和 GSH-Px 活力明显升高, 从而使肿瘤宿主清除自由基的能力增强, 抑制肿瘤细胞的生长、增殖^[40]。

微量元素在体内生物化学过程中起着十分重要的作用。它们作为机体多种物质的重要组成部分、与机体生长发育、心脑血管疾病、免疫功能、机体衰老等有着十分密切的关系, 然而对各种疾病引起的微量元素的过多或减少, 目前尚无肯定的治疗方法。王建杰等研究了全科广谱治疗仪照射对小鼠肝脏微量元素的影响, 发现峰值波长 7~10 μm 的中远红外线照射对微量元素的失衡能够进行双向调节, 对于正常含量也可促进其吸收, 起到很好的防病、治病、保健作用^[41]。

电光性眼炎是由于电焊工防护不当, 眼部受紫外线过度照射所引起的角膜和结膜炎症反应。目前在治疗电光性眼炎上, 还没有特效的疗法。有人根据红外线可抑制紫外线红斑反应的原理, 用远红外线治疗电光性眼炎, 收到了较好的疗效。推测其原理: 红外线是长波光线, 其量子能较少, 但其光流量较为强大, 具有明显的热效应, 对紫外线造成眼部的光电性损害有缓解作用。红外线的热作用还能降低神经末梢的兴奋性, 对肌肉组织有松弛作用。所以对眼部解痒止痛的效果很好^[42]。

Schramm JM 等报道联合应用红外线和微波治疗可以加速伤口的愈合^[43]。远红外按摩理疗床对急、慢性腰腿痛、颈椎病、落枕及肩周炎有较好的疗效。

自体动静脉内瘘 (AVF) 是长期血液透析患者最常用的通路类型, 在我国占 70% 以上。Feldman 等报道在美国因血管通路障碍而住院的患者在血液透析住院患者中占 20%, 每年花费达 10 亿美元^[44]。做好血管通路的护理工作是保护血液透析患者的生命线是一大挑战。

大量动物实验及人体研究发现,远红外线照射具有修复外伤、糖尿病或外周阻塞性动脉病变引起的缺血、坏死损伤的潜力。AVF位于血透患者上肢浅表部位,研究表明远红外线照射治疗对维持性血液透析患者AVF的保护作用。血液透析患者的AVF长期经历着反复穿刺及血管内异常血流的损伤,极易造成血管内皮功能受损,最终导致AVF功能障碍。血管通路功能障碍常表现为内瘘处炎性增生狭窄或血栓形成导致的血流量不足,LIN等发现通路血流量 $<500\text{ mL/min}$ 与血管通路失功风险增加相关。远红外线治疗除了热效应作用外,非热效应作用在保护AVF中发挥了重要作用。

远红外线释放的能量被皮肤吸收并转化为热能,引起局部皮温升高,扩张微小血管,加快血液循环,有助于提升局部血流量。这是远红外治疗的热效应在发挥作用。另一方面,如上文所述,远红外线的治疗还具有多种非热生物学效应,尤其在血管内皮功能的保护方面^[45]。YU等^[46]发现远红外线治疗通过激活L-精氨酸/一氧化氮途径中的诱导型一氧化氮合酶增加皮肤血流量^[47]。研究发现用远红外线照射可促进血红素加氧酶-1 mRNA表达,从而抑制血管内皮炎症反应^[48-49],并且,远红外线治疗还可能通过改善体内氧化应激及炎症状态,抑制血管内膜增生、保护血管。

远红外线照射对血液透析患者的自体动静脉内瘘是一种无创且方便的治疗方式,能通过热学效应及非热学效应提高血液透析患者的血流量,抑制局部炎症反应从而促进AVF的存活。选择每周3次,每次40 min的治疗方式可以达到最佳效果,值得临床推广使用。

3 总结与展望

综上所述,红外线对生物体的有益效应具有多重效果。中近红外主要被生物体内的水分子所吸收并破坏分子间的氢键,大分子团水裂解为小分子团水,使水达到活化效果:增强生物体的新陈代谢、血脂代谢、细胞活力、酶活性以及免疫功能,同时能够提升体内营养物质的分配和废物的排泄。而吸收的远红外线可以引起蛋白质分子中的酰胺键的量子振动。从而可使生物能量顺利地由一处传递到另一处,使生命体处于正常状态,保持生命体的生长、发育及健康。

红外疗法对多种疾病均具有有益作用,如:伤口止痛愈合、活血化瘀、糖尿病足溃疡愈合、治疗高血压、舒解精神压力、抑制疼痛、增进睡眠质量、降低血糖等症状均有疗效。

目前,红外线的热生物效应和非热生物效应正在被广泛的研究,很多临床效果越来越引起人们的注意,但是这些效果、效应以及背后的生物医学原理仍然没有被很好认识,红外医疗保健的研究工作仍有很大的提升空间。

参考文献:

- [1] 范璐,宁西春,黄敏. 巴马长寿旅游资源分析研究[J]. 经济与社会发展, 2008, 6(2): 84-87.
- [2] 张建平, 赵林, 谭欣. 改变水分子簇的结构及诱发的生物效应研究[J]. 天津理工学院学报, 2003, 19(4): 8-11.
- [3] 张建平. 改变水分子簇结构对传质过程的影响[D]. 天津: 天津大学, 2003.
- [4] 廉明洋, 李青山, 杜善钊, 等. 远红外线与小分子团水[C]//全国第十五届红外加热暨红外医学发展研讨会, 2015: 234-236.
- [5] 郭润霞, 王汉章, 李文华. 磁力活化水对骨骼、高脂血症和脂质过氧化的影响[J]. 环境与健康杂志, 2000, 17(1): 25-28
- [6] 赵大源. 磁化水对高胆固醇血症大鼠血压及心率的影响[J]. 中国医学物理杂志, 1993, 10(1): 30-33.
- [7] 庞小峰, 张安英. 微波的生物热效应的机理和特性研究[J]. 原子与分子物理学报, 2001, 18(4): 421-425.
- [8] 祝之明. 高血压患者红细胞钠和钙离子转运的研究[J]. 中华心血管病杂志, 1989, 17(4): 216-220
- [9] Francois P Rotzinger. Structure of the transition states and intermediates formed in the water-exchange of metal hexaqua ions of the first transition series [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1996, 118: 6760-6766.
- [10] Curt A Davey, David F sargent, Karolin Luger, et al. Solvent mediated interactions in the structure of the nucleosome core particle at 1.9 A resolution [J]. *J. Mole. Bio.*, 2002, 319:1097-1113
- [11] Hassan Belrhali, Peter Nollert, Anloine Rayant, et al. Protein, lipid and water organization in bacteriorhodopsin crystals: a molecular view of the purple membrane at 1.9 A resolution[J]. *Structure*, 1999, 7(8): 909-917.
- [12] Privalov P L. *Heat capacity studies in biology: biological microcalorimetry*[M]. London: Academic Press, 1980.

- [13] 赵林, 蛋白质热变性前新峰形成机制探讨[J]. 生物物理学报, 1999, 15(4):627-630.
- [14] Finney J L, Goodfellow M J, Poole P L. *The structure and dynamics of water in globular protein: structure molecular biology*[M]. New York: Plenum Press, 1982.
- [15] 庞小峰. 红外线的生物热效应及其医疗功能[C]//第三届电磁辐射与健康国际研讨会暨 2003 年全国电磁辐射生物学学术会议, 2003: 161-163.
- [16] 李滚, 庞小峰. FTIR 研究红外光曝露对于高血糖大鼠的影响[J]. 激光杂志, 2013, 34(3): 43-44.
- [17] 吴本玠. 红外技术与生物医学[J]. 中国医疗器械信息, 2001, 7(2): 33-35.
- [18] Davydov A S J. *Theor. Biol.*, 1973, 38: 559.
- [19] 庞小峰, 非线性量子力学理论[M]. 重庆出版社: 243-262.
- [20] Eilbeck J C, Lomdahl P S, Scott A C. *Physica, D*, 1985, 16: 318.
- [21] Scott A C. *Phil. Trans. R. Soc.*, 1985: 315-423
- [22] 庞小峰. 生命体吸收的红外光的非热生物效应的研究[J]. 物理, 2001, 9: 525-532.
- [23] 杨立英, 高明霞, 王清荣. 红花油配合远红外线治疗褥疮 26 例[J]. 实用中医药杂志, 2003, 19(11): 592.
- [24] 崔岑. 远红外线治疗带状疱疹 32 例观察[J]. 航空航天医药, 2000, 11(4): 216-217.
- [25] 张爱平, 王和鸣. 生物陶瓷远红外线对 29 例烧伤患者的对照研究[J]. 福建中医学院学报, 1998, 8(3): 18-19
- [26] 熊志农. 远红外线护具在临床护理中的应用[J]. 护上进修杂志, 2000, 15(10): 779.
- [27] 张燕华, 袁洪华, 王新华. 远红外线辐射加温床治疗新生儿红臀及臀部溃疡 36 例[J]. 山西护理杂志, 1999, 13(6): 255.
- [28] 黄沅, 蔡清辉, 林深. 远红外线与普通暖箱对新生儿硬肿症复温疗效的比较[J]. 中国危重病急救医学, 1995, 7(1): 48-49
- [29] 姜平, 罗力生. 远红外线对鼠随意皮瓣成活的影响[J]. 微循环学杂志, 2000, 10(1): 69-71
- [30] Yamazaki M, Miura Y, Tsuboi R, Ogawa H. Linear polarized infrared irradiation using SuperLizerisan effective treatment for multiple-type alopecia areata[J]. *Int J Dermatol.*, 2003, 42(9):738-40.
- [31] Yokoyama K, Oku T. Rheumatoid arthritis-affected temporomandibular joint pain analgesia by linear polarized near infrared irradiation[J]. *Can. J. Anaesth.*, 1999, 46(7): 683-687.
- [32] 吴新军, 许国忠, 王俊科. 直线偏振光红外线(超激光)治疗变形性关节炎疗效的临床观察[J]. 中国疼痛医学杂志, 2000, 6(3): 156-158
- [33] 王梅. 低温激发远红外线治疗心脑血管疾病患者的血粘度监测[J]. 微循环学杂志, 2000, 10(1): 59.
- [34] 翟瑶. 近红外信息照射治疗慢性活动性肝炎 100 例疗效观察[J]. 中华传染病杂志, 1986, 4(2): 64.
- [35] 荆蕊平, 王昕, 刘淑青. 远红外线照射治疗产后尿潴留 15 例[J]. 现代中西医结合杂志, 2000, 9(13): 1270.
- [36] 盖启凤, 滕喜玲, 康玉萍. 远红外线照射治疗盆腔炎症性包块 62 例[J]. 中华理疗杂志, 2000, 23(5): 290.
- [37] 徐秀美, 邹剑平. 远红外照射治疗小儿肠筋挛 208 例[J]. 中华理疗杂志, 1999, 22(4): 229.
- [38] 程绍钧, 王荡, 张广运. 红外线辐射对糖尿病兔糖代谢调控的实验性研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2000, 22(3): 165-167
- [39] 何勇, 李志新, 崔友. 中远红外线对荷瘤鼠大脑β-内啡肽、脑啡肽、强啡肽水平影响的实验研究[J]. 黑龙江医药科学, 2001, 24(3): 42-43
- [40] 滕艳杰, 卢凤美, 赵慧, 等. 中远红外线对荷瘤鼠 S-180 肝脏 MDA、SOD 和 GSH-Px 的影响, 黑龙江医药科学[J]. 1999, 22(6): 8-9.
- [41] 王建杰, 祝丽玲, 赵红宇. 全科广谱治疗仪照射对小鼠肝脏微量元素的影响[J]. 黑龙江医药科学, 2001, 24(4): 8.
- [42] 贺国华. 远红外线治疗电光性眼炎一例报告[J]. 巴州科技, 1996(1): 52-53.
- [43] Schramm J M, Warner D, Hardesty R A, et al. A unique combination of infrared and microwave radiation accelerates wound healing[J]. *Plast Reconstr Surg.* 2003, 111(1): 258-266.
- [44] Campos B, Lec T, Roy Chaudhury P. Arteriovenous fistula failure: is there a role for epigenetic regulation? [J]. *Semin Nephrol*, 2013, 33(4): 400-406.
- [45] 沈燕. 不同时间远红外线照射治疗对维持性血液透析患者自体动静脉内瘘的保护效应[J]. 广东医学, 2015, 36(22): 3466-3469.
- [46] Park J H, Lee S, Cho D H, et al. Far-infrared radiation acutely increases nitric oxide production by increasing Ca²⁺ mobilization and Ca²⁺ / calmodulin-dependent protein kinase II-mediated phosphorylation of endothelial nitric oxide synthase at serine 1179[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2013, 436(4): 601-606.
- [47] Yu S Y, Chiu J H, Yang S D, et al. Biological effect of far-infrared therapy on increasing skin microcirculation in rats [J]. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2006, 22(2): 78-86.
- [48] Tu Y P, Chen S C, Liu Y H, et al. Postconditioning with far infrared irradiation increases heme oxygenase -1 expression and protects against ischemia/reperfusion injury in rat testis[J]. *Life Sci*, 2013, 92(1): 35-41.
- [49] Lin C G, Liu X M, Peyton K, et al. Far infrared therapy inhibits vascular endothelial inflammation via the induction of heme oxygenase -1[J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2008, 28(4): 739-745.

石墨烯基低电压透明辐射电热膜器件

冯冠平, 袁凯杰, 胡益民

(烯旺新材料科技股份有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 在厚度为 125 μm 的 PET 透明基材上转移一层石墨烯薄膜, 在石墨烯薄膜上制作图案化导电电极, 用 OCA 胶在电极表面粘贴与透明基材同尺寸的 PET 保护薄膜, 制作透明电热红外辐射薄膜器件。调整电极的形状、尺寸以及间距, 即可调整电极间石墨烯薄膜的电阻, 实现对电热薄膜电功率及发热温度的控制。在 30 $^{\circ}\text{C}$ ~100 $^{\circ}\text{C}$ 的表面温度范围内, 实验样品的红外辐射能量均集中在 6~14 μm 波段, 辐射峰值波长约 8~9 μm , 法向全发射率为 0.87, 温度均匀度优于 9.25%。

关键词: 石墨烯; 透明电热膜片; 红外辐射

0 引言

透明辐射电热膜, 是一种由电绝缘柔性薄片封装加热电阻构成的平面发热器件。通常是在透明的膜材表面镀透明导电涂层, 然后在导电涂层表面制作导电电极, 电流流经透明导电涂层产生热量^[1]。

石墨烯(Graphene)是一种由碳原子以 sp^2 杂化方式形成的蜂窝状平面薄膜(图 1), 是一种只有一个原子层厚度的准二维材料, 又称单原子层石墨。石墨烯具有非常好的热传导性能。纯的无缺陷的单层石墨烯的导热系数高达 5300 W/mK, 高于碳纳米管和金刚石, 是目前为止导热系数最高的碳材料。当它作为载体时, 其导热系数也可高达 600 W/mK^[2]。单层石墨烯的透光率很高, 从可见光到太赫兹波段, 每层仅吸收 2.3%, 几乎透明, 是制作透明辐射电热膜的理想材料。

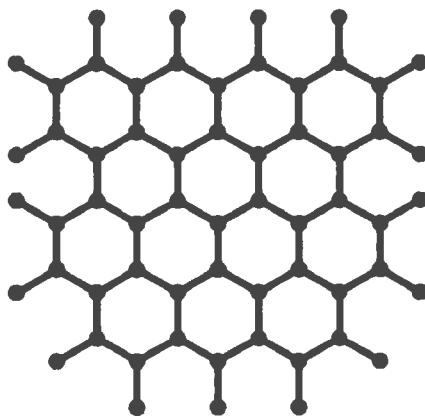


图 1 石墨烯结构示意图

由于常用透明导电涂层材料在膜厚较薄时的方块电阻较大, 因而必须使用较高的工作电压, 不利于电热膜的安全和便携使用。增加导电涂层厚度可以降低工作电压, 但相应地增加了材料成本, 并同时降低了生产效率和透光率。在石墨烯膜上铺设线径小于 5 μm 的导电连接网膜, 可以降低整体透明导电材料的方阻^[3]。但是, 由于导电连接网膜的方阻通常远小于石墨烯薄膜的方阻, 并且二者是并联关系, 因而起发热作用的主要是导电连接网膜而非石墨烯膜。

1 石墨烯基透明辐射电热膜器件

在厚度为 125 μm 的 PET 透明基材上转移一层石墨烯薄膜, 使用丝网印刷设备在转移好的石墨烯薄膜上印刷银浆电极图案, 图案形状如图 2 所示^[4-5]。

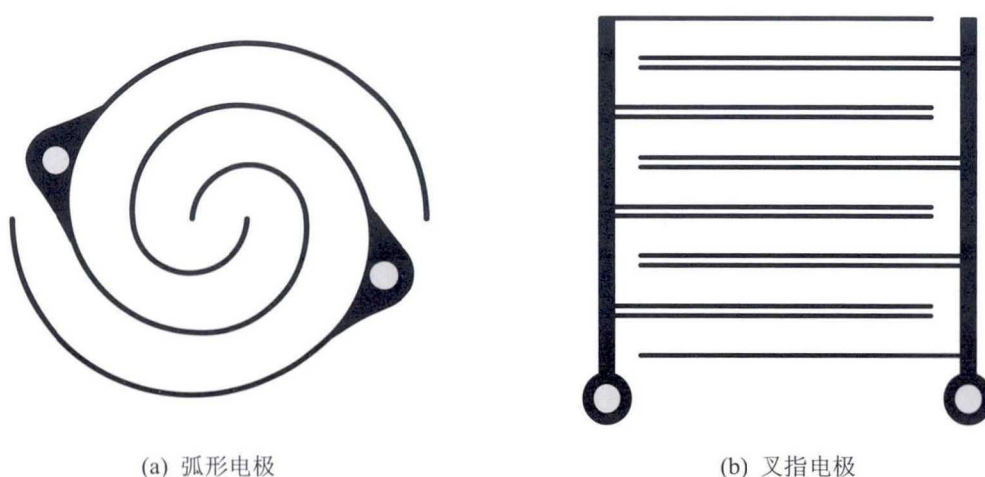


图2 图案化电极设置示意图

如图 2(b), 电极由两根汇流条和若干内电极构成, 内电极由汇流条相向延伸形成叉指电极。两根汇流条分别接电源的正、负极, 使得两相邻的内电极极性相反, 通电时正极汇流条提供的电流由各正极内电极流入对应负极内电极, 最终全部汇入负极汇流条。调整汇流条和内电极的尺寸及间距, 即可调整两电极间石墨烯导电薄膜的电阻, 从而实现对发热膜电功率及发热温度的控制。

将印刷好的电极图案置于烘箱中烘烤, 待银浆固化后, 用 OCA 胶在电极表面粘贴与透明基材同尺寸的 PET 保护薄膜, 最后制作电极引线。制作好的电热膜片样品如图 3 所示。

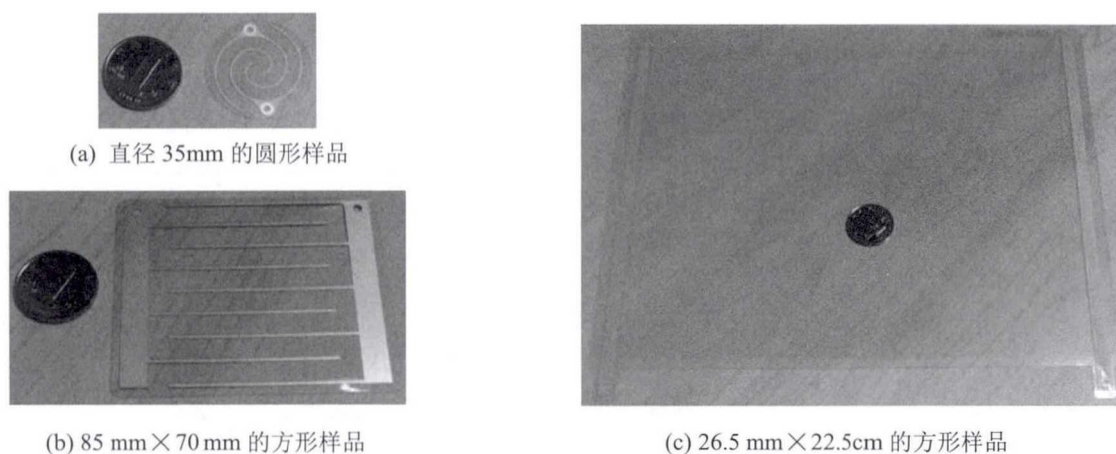


图3 制作好的石墨烯电热膜片样品

电热膜片的最终升温温度、起始温度、供电电压、两内电极间距和透明导电层的方块电阻满足如下关系^[4]:

$$T = \frac{kU^2}{d^2} \cdot R + t \quad (1)$$

式中: t 为起始温度, 单位 $^{\circ}\text{C}$; T 为电热膜片最终升温温度, 单位 $^{\circ}\text{C}$; U 为供电电压, 单位 V ; d 为内电极间距, 单位 m ; R 为透明导电层方块电阻, 单位 Ω/\square ; k 为常数, 取值与电热膜片和空气间的传导系数成反比。

为了保证发热温度的均匀性, 汇流条的宽度和厚度需要考虑所用材料的电阻率和电流承载能力。电阻率必须足够小, 以减小汇流条上的电压降, 确保汇流条上不同位置的内电极电压差不超过设计限值, 从而保证膜片的温度均匀度满足设计要求。汇流条截面积必须大于某一设计限值, 以提供足够的电流承载能力, 确保在设计电功率条件下汇流条不被烧毁。

电极汇流条的设计需要满足如下关系^[4]:

$$n \cdot (n+1) \cdot \rho \cdot \frac{l}{W \cdot H} \cdot R < \frac{1}{5} \quad (2)$$

式中： n 为内电极在汇流条围成的面积内共产生的间隔数； ρ 为汇流条材料的电阻率，单位 $\Omega \cdot m$ ； l 为内电极的长度，长度不等时按其中最最长内电极计算，单位 m ； W 为汇流条宽度，单位 m ； H 为汇流条厚度，单位 m ； R 为石墨烯导电薄膜的方块电阻，单位 Ω/\square 。

为了进一步改善膜片加热的温度均匀度，并在相同工作电压条件下提高发热温度，可以在石墨烯薄膜的两面分别设置正、负两套电极并错开一定距离，形成被石墨烯薄膜隔开的叉指电极。

对于生长在金属箔衬底上的石墨烯薄膜，可以采用表面生长好薄膜的金属箔衬底制作图案化电极，从而简化制备过程，节省时间和材料成本，同时金属箔的导电性能良好，有利于改善电热膜片的温度均匀度，具体过程如下^[5]：

1) 将生长好石墨烯的铜箔（石墨烯经过掺杂，方阻为 $120 \Omega/\square$ ，铜箔厚度为 $25 \mu m$ ）与厚度为 $125 \mu m$ 的 PET 透明基材通过 UV 胶贴合在一起。

2) 待 UV 胶固化后，使用丝网印刷设备，在贴合好的铜箔上印刷设计好的电极图案（可剥胶掩膜），图案形状如图 2 所示。

3) 将印刷好的电极图案置于烘箱中烘烤，使可剥胶固化。

4) 将烘烤后的样品置于 30% 的 $FeCl_3$ 刻蚀液中刻蚀，刻蚀结束后水洗吹干，揭下电极表面的可剥胶。

5) 用 OCA 胶在电极表面粘贴与透明基材同尺寸的 PET 保护薄膜，并制作电极引线。

2 石墨烯基电热膜器件特性

2.1 电热特性

石墨烯基电热膜器件可在低至 1.5VDC 的工作电压下，迅速升温至额定辐射功率状态，并且热惯性小、温度均匀度好。

采用图 3(a)所示直径为 35 mm 的圆形实验样品（室温下电阻为 6.5Ω ），在室温、3.7 V DC 的实验条件下，记录实验样品几何中心的升温曲线如图 4(a)所示。从图 4(a)可以看出，在低至 3.7 V DC 的工作电压下，只需 2 分钟的加热时间，膜片样品表面的发热温度即可迅速升至 $110^\circ C$ 的稳态温度，其阶跃响应上升时间约 90 s。

采用图 3(c)所示尺寸为 $26.5 cm \times 22.5 cm$ 的方形实验样品（室温下电阻为 150Ω ），在其上布置 5 个温度传感器，除中心测点以外，其余各测点距样品边沿为各自边长的 1/10。在室温、110 V AC 的实验条件下，将其竖直方向悬挂在空中，记录实验样品的升温曲线如图 4(b)所示。从图 4(b)可以看出，上电后大约 60 s 的加热时间，膜片样品表面的发热温度即可升至 $60^\circ C$ 的稳态温度，由于膜片样品是竖直方向悬置，导致下端两个测量点的温度略低。

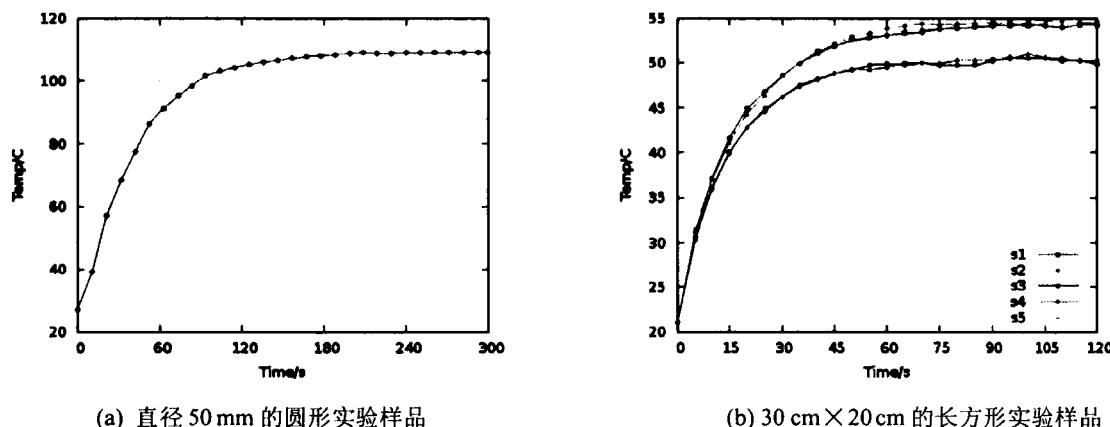


图 4 石墨烯基电热膜器件的热惯性

采用图 3(c)所示尺寸为 26.5 cm×22.5 cm 的方形实验样品，在室温、110 V AC 的实验条件下，上电 60 s 后，采用 Fluke TiS75 型红外热像仪记录样品的红外热像如图 5 所示。从图 5 可以看出，膜片有效发热区域内的最高温度为 54.0℃，最低温度为 49.2℃，整个发热区域的平均温度为 51.9℃，温度偏差小于 5℃，温度均匀度优于 9.25%。

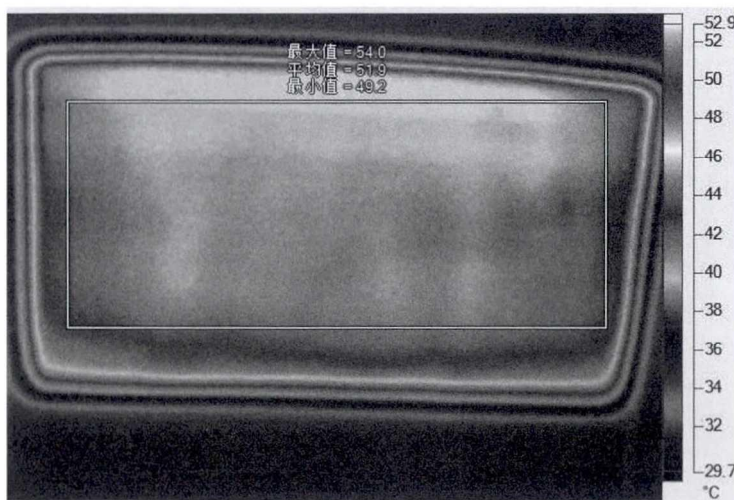


图 5 石墨烯基电热膜器件的温度均匀性

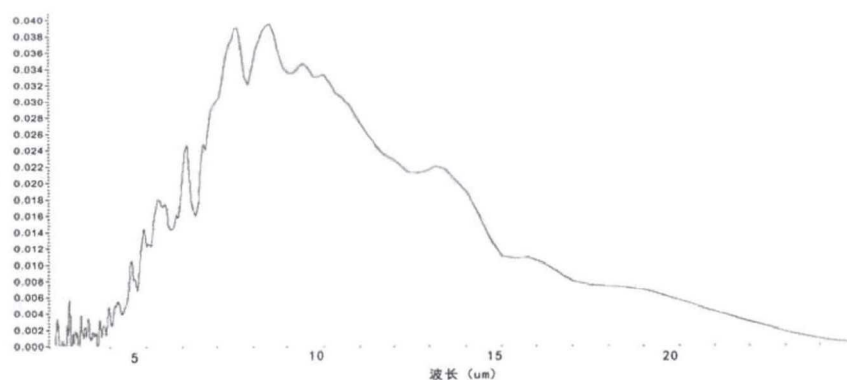
2.2 红外辐射特性

物体的辐射力等于其光谱辐射力函数对波长的积分。发射率表征物体的辐射能力，是衡量物体发射辐射或吸收辐射效率的物性参数，与物体的材料性质、表面温度、表面特性以及波长等因素相关，定义为实际物体的辐射力与同温度黑体的辐射力之比。

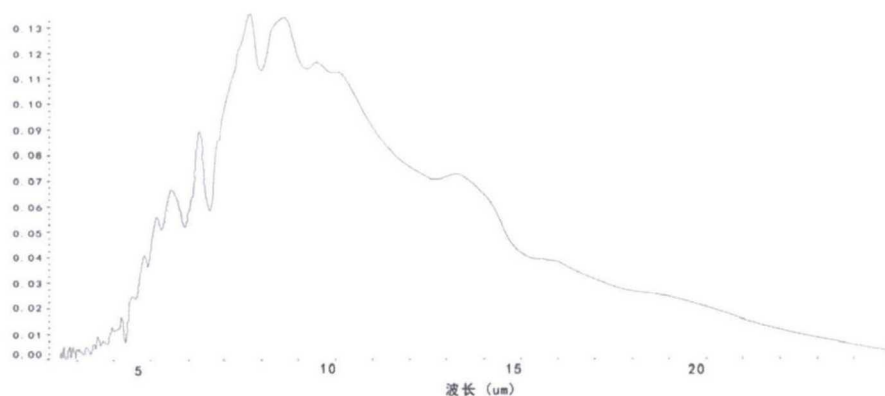
依据 GB/T 4654-2008《非金属基体红外辐射加热器通用技术条件》，测得图 3(c)所示石墨烯电热膜器件样品低温条件下的法向全发射率为 0.87（国家红外及工业电热产品质量监督检验中心检测数据）。

调节图 3(c)所示石墨烯电热膜片样品的输入电功率，控制其表面温度，依据 GB/T 7287-2008《红外辐射加热器试验方法》，测得膜片样品在 30℃、50℃以及 100℃的红外波段相对辐射能谱如图 6 所示（国家红外及工业电热产品质量监督检验中心检测数据）。

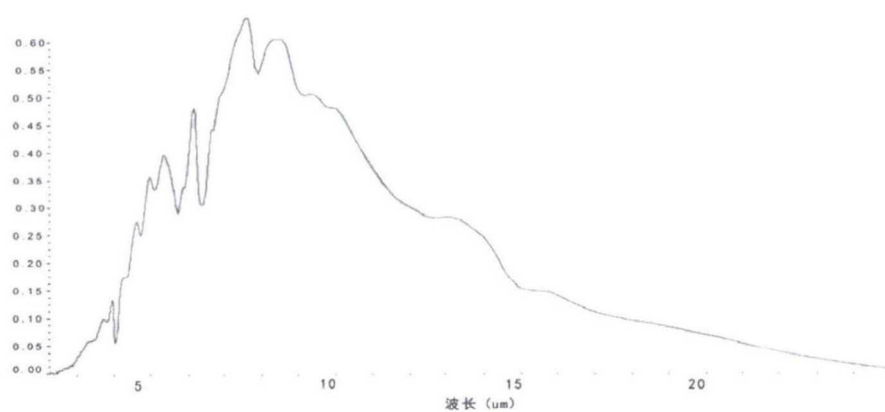
从图 6 可以看出：在 30℃~100℃的表面温度范围内，膜片样品的红外辐射能量均集中在 6~14 μm 波段，辐射峰值波长约 8~9 μm；随着实验样品表面温度的升高，其红外辐射功率迅速增强。红外辐射的量子理论表明，物质对红外辐射的发射和吸收实质上是分子体系的跃迁偶极矩和光的振荡电场相互作用的结果^[6]。石墨烯作为碳材料的一种，因其独特的单原子层蜂窝状平面结构，是一种理想的红外辐射材料。



(a) 表面温度 30℃



(b) 表面温度 50°C



(c) 表面温度 100°C

图6 石墨烯基电热膜器件的红外辐射特性

3 总结与展望

人体是一个天然的红外辐射源，同时又是良好的红外辐射吸收体。人体红外辐射的峰值波长在 9.35 μm 左右，依据基尔霍夫辐射定律，人体会吸收以 9.35 μm 为中心波长的红外辐射^[7]，其吸收波段集中在 3~15 μm ，与石墨烯基电热膜器件的辐射能谱相匹配，依据红外辐射匹配吸收理论，理论上会有较高的红外辐射吸收效率。

因此，石墨烯基透明辐射电热膜器件因其低电压、面发热、温度均匀、低温辐射、红外辐射效率高、辐射能量集中波段与人体红外吸收波段匹配度高等独特性能，在红外热疗、民生采暖等领域作为一种理想的红外辐射材料，具有广阔的应用前景。

文中所述技术方案已在国内、国际同步申请发明专利。

参考文献：

- [1] W. C. 麦卡尔西. 可加热的透明件: 中国, 201280047457.7[P]. 2012-09-07.
- [2] 曹宇臣, 郭鸣明. 石墨烯材料及其应用[J]. 石油化工, 2016, 45(10): 1149-1159.
- [3] 黄海琴, 王慰, 王文韬, 等. 一种基于石墨烯的透明电加热薄膜及其制备方法: 中国, 201210369763.4[P]. 2012-09-28.
- [4] 冯冠平, 谭化兵, 刘海滨, 等. 一种低电压透明电热膜: 中国, 201510203320.1[P]. 2015-04-24.
- [5] 冯冠平, 刘海滨, 谭化兵. 一种低电压透明电热膜及其制备工艺、高温电热片及其制备工艺: 中国, 201510837576.8[P]. 2015-11-26.
- [6] 任晓辉, 张旭东, 何文, 等. 红外辐射材料的研究进展及应用[J]. 现代技术陶瓷, 2007, 28(2): 26-31.
- [7] 庞小峰. 生物电磁学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 211-215.