

تغییرات دمای عمق‌های مختلف بافت مغز در مواجهه با امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه

فرهاد فروهر مجد، سیامک پورعبدیان و حسین ابراهیمی*

گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

*اصفهان، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، کدپستی: ۱۳۹۴۴-۹۱۳۸۸

پست الکترونیکی: hosseinebi20@gmail.com

چکیده

مقدمه: استفاده شایع از تلفن‌های همراه منجر به افزایش نگرانی در مورد تأثیر امواج رادیوفرکانسی بر فیزیولوژی بدن انسان شده است. این مطالعه به منظور تعیین واکنش متفاوت دمای عمق‌های مختلف بافت مغز در مواجهه با امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه انجام شد. روش اجرا: این مطالعه از نوع تجربی بود. بافت مغز گاو در یک اتاقک در سه عمق ۱۲ m، ۲۲ و ۲ بافت و در فاصله‌ی ۴ cm و ۴ mm از تلفن همراه از بافت به مدت ۱۵ min اثر حرارتی امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه در حین مواجهه و بعد از قطع مواجهه مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری دمای بافت از دماسنج لوترون استفاده گردید. یافته‌ها: در حین مواجهه بافت مغز در فاصله ۴ mm از تلفن همراه میزان افزایش دما در عمق ۲۲ mm بیشتر از عمق‌های ۲ mm و ۱۲ mm بود به طوری که دمای بافت در عمق‌های ۱۲ mm، ۲۲ و ۲ به ترتیب ۲۹، ۳۱/۰ و ۳۷/۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای پایه افزایش یافت. همچنین دمای بافت مغز در فاصله ۴ cm با افزایش عمق بافت، بیشتر از سایر عمق‌ها بود. افزایش دمای بافت با افزایش عمق بافت مغز در زمان بعد از مواجهه با تلفن همراه نیز وجود داشت. دمای عمق ۲۲ mm بافت در زمان مواجهه با سرعت بالاتری افزایش یافت. نتیجه‌گیری: امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه نه تنها در تمامی عمق‌های بافت مغز سبب افزایش دمای بافت شد بلکه در عمق‌های بالاتر (۲۲ mm) بافت مغز دمای ناشی از امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه بیشتر بود.

کلیدواژه‌گان: تلفن همراه، امواج رادیوفرکانسی، بافت مغز، دما، عمق بافت

۱. مقدمه

امواج الکترومغناطیسی است که در صورت تماس و مواجهه با بدن این امواج می‌تواند به بافت‌های بدن انسان نفوذ کند [۲]. طبق گزارشات سازمان بهداشت جهانی امواج رادیو فرکانسی یکی از منابع آلوده کننده است که انتشار این امواج خطراتی را برای انسان به همراه دارد [۳]. وجود تقریباً ۷ بیلیون دستگاه

گسترش شبکه‌های تلفن همراه و تنوع خدمات ارائه شده توسط سرویس‌دهندگان این شبکه‌ها نظیر سرویس‌های پیام کوتاه، ارسال آسان تصاویر، فیلم‌ها و پرداخت‌های الکترونیکی سریع و راحت منجر به افزایش استفاده هر چه بیشتر این وسیله توسط مردم شده است [۱]. تلفن همراه منبع اصلی

مواجهه کاربران با تلفن همراه به مدت ۳۵ دقیقه نشان دادند امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه سبب افزایش دمای کانال گوش کاربران تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد می‌شود [۶]. Anderson و همکارش گزارش نمودند امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه در حین مواجهه با آن سبب افزایش دمای پوست به اندازه ۰/۱ درجه سانتی‌گراد می‌گردد [۱۲]. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که افزایش بسیار کم حدود ۰/۳-۰/۲ درجه سانتی‌گراد در هیپوتالاموس منجر به تغییر رفتاری تنظیم دمای بدن می‌شود [۱۳]. همچنین در در پژوهشی بیان شد، افزایش حرارت ناشی از میدان الکتریکی القا شده در بافت‌های مغز به علت فاصله نزدیک سر به منبع تابش می‌باشد هر چه این فاصله افزایش یابد میزان دما در بافت‌های مغز کاهش می‌یابد [۱۴]. امروزه تلفن همراه یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین منبع تابشی امواج الکترومغناطیسی مطرح می‌شود که از محبوبیت زیادی در بین کاربران در روابط اجتماعی و شغلی برخوردار است. از طرفی نگرانی‌های عمومی در مورد اثرات زیان‌آور امواج ساطع شده از تلفن همراه بر سلامتی کاربران وجود دارد. بدین ترتیب این مطالعه به منظور تعیین واکنش متفاوت دمای عمق‌های مختلف بافت مغز در مواجهه با امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه انجام شد.

۲. روش اجرا

مطالعه حاضر از نوع تجربی بود. جهت بررسی واکنش دمای عمق‌های مختلف بافت از بافت مغز گاو با وزن ۴۳۲ گرم استفاده شد. دمای بدن گاو ۳۸/۵ درجه سانتی‌گراد است مغز بلافاصله پس از ذبح حیوان به آزمایشگاه منتقل شد. دمای آزمایشگاه ۲۳/۴۰ درجه بود که باید دمای بافت با دمای آزمایشگاه هم‌دما می‌شد. بافت مغز در داخل اتاقکی که جهت مخصوص اندازه‌گیری در نظر گرفته شده بود قرار گرفت.

تلفن همراه در جهان نشان‌دهنده این است که کاربران تلفن همراه روبه افزایش است [۴]. همزمان با افزایش استفاده از تلفن همراه نگرانی‌هایی را در مورد امواج رادیوفرکانسی ساطع شده از آن به وجود آمده است. افزایش دمای بافت‌های مواجهه یافته با تلفن همراه از اثرات امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه می‌باشد [۵]. استفاده از تلفن همراه در نزدیک سر منجر به بروز اثرات زیان‌آور بر روی سیستم اعصاب مرکزی کاربران می‌شود [۶].

هنگام استفاده از تلفن همراه، انرژی منتشر شده از میدان الکترومغناطیسی تلفن‌های همراه و فاصله بسیار کم گوشی تلفن با سر، مقداری از آن توسط اندام بدن به ویژه سر جذب می‌گردد [۷]. در مطالعه‌ای احساس سوختگی یا احساس گرما در اطراف و پشت گوش، پوست صورت و همچنین سردرد به عنوان علائم گرمایی در اثر استفاده از تلفن همراه گزارش شده بود [۸]. مغز مهم‌ترین جز تشکیل‌دهنده سیستم اعصاب مرکزی است که توسط مجموعه محافظت می‌شود؛ در زمان برقراری تماس و مکالمه با تلفن همراه مغز بیشترین مواجهه با امواج رادیوفرکانسی را دارد [۹].

در بررسی مواجهه بافت مغز با تلفن همراه به مدت ۳۰ دقیقه گزارش شد دمای بافت حین مواجهه با تلفن همراه در مقایسه با قبل از مواجهه ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت [۵]. بیشترین شکایت کاربران تلفن همراه مربوط به گرم شدن گوش در اثر تماس با تلفن همراه بود. فرسودگی باطری، امواج رادیوفرکانسی و الکترومغناطیسی تلفن همراه که توسط سر آنان جذب می‌شود ممکن است سبب افزایش دما در ناحیه گوش شود [۱۰]. به علت اینکه آنتن تلفن همراه هنگام مکالمه در نزدیک گوش و سر قرار می‌گیرد، سر به ناچار با امواج رادیوفرکانسی مواجهه دارد که باعث توجهات بیشتر در این زمینه شده است [۱۱]. Lindholm و همکاران در بررسی

۱.۲. تجهیزات آزمایشگاهی

به منظور افزایش دقت اندازه گیری و کاهش خطای ناشی از دما، رطوبت و سیستم های تهویه مطبوع در حین اندازه گیری، یک اتاقک با ابعاد ارتفاع ۴۰، طول ۸۰ و عرض ۳۰ سانتیمتری از جنس فلکسی گلاس طراحی و ساخته شد که بافت درون این اتاقک قرار گرفته و از تماس با شرایط محیطی آزمایشگاه جدا شد و بعد از تنظیمات لازم درب اتاقک بسته می شد. هم دما شدن بافت مغز با دمای بافت مغز دمای پایه اندازه گیری بود.

برای اندازه گیری دمای بافت از دماسنج لوترون (مدل MT-917) با دقت ± 0.1 استفاده شد. دماسنج دارای ۵ عدد پروب اندازه گیری بود که برای پژوهش حاضر از پروب TP100 استفاده شد. این پروب برای اندازه گیری عمق ها و ضخامت های مختلف استفاده می شود و محدوده دمایی آن از $199/99 +$ تا $199/99 -$ و جنس آن از پلاتین بود.

دماسنج لوترون قادر به اندازه گیری با دو واحد فارنهایت و سلسیوس بود که برای این بررسی از واحد سلسیوس استفاده گردید. دماسنج توسط یک کابل (مدل USB-01) به سیستم کامپیوتر وصل شد. محدوده دمایی این کابل USB بین ۵۰ تا ۰ درجه سانتی گراد بود و در رطوبت زیر ۸۰٪ کاربرد داشت. با نصب برنامه نرم افزاری لوترون، تغییرات دمایی به صورت لحظه ای اندازه گیری و ثبت گردید.

۲.۲. آماده سازی و مواجهه

بافت مغز در داخل اتاقک قرار گرفت سپس پروب TP100 با توجه به اندازه گیری دمای قشر خاکستری و قشر سفید مغز در عمق های ۲ و ۱۲ و ۲۲ میلی متری بافت قرار داده شد که تعیین دقیق عمق بافت با کولیس دیجیتال انجام گرفت. اولین عمق مربوط به قشر خاکستری مغز با ضخامت ۲ میلیمتری بود. برای بررسی تاثیر حرارتی امواج رادیو فرکانسی تلفن همراه از یک

تلفن هوشمند استفاده شد که روی پایه در فاصله ۴ میلی متری از بافت مغز و در سمت چپ آن، مانند زمانی که فرد در حال مکالمه با تلفن همراه است، قرار گرفت. بعد از انجام تنظیمات، دماسنج روشن و توسط کابل USB به سیستم کامپیوتر وصل شد و نرم افزار مربوط راه اندازی شد.

در ابتدا برای برقراری تعادل دمایی بین بافت و محیط داخل اتاقک و کاهش خطا، تماس بین بافت و تلفن همراه برقرار نشد تا زمانی که دمای بافت با دمای اتاقک یکسان شد و دماسنج دمای ثابتی را نشان داد به طوری که بعد از ثابت شدن دمای بافت ۱۵ دقیقه توسط نرم افزار دمای ثابت ثبت شد که این دما، دمای پایه (دمای بافت قبل از مواجهه با تلفن همراه) نام داشت. سپس تماس بین بافت و تلفن همراه برقرار گردید همانند زمانی که فرد در حال مکالمه با تلفن همراه است. زمان مواجهه ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد. با اتمام مدت زمان مواجهه، تماس قطع شد. در مرحله ی بعد به مدت ۱۵ دقیقه بافت در اتاقک نگه داشته شد تا دمای آن بدون مواجهه و حضور امواج رادیو فرکانسی کاهش یابد. در تمام مراحل قبل، حین و بعد از مواجهه با امواج رادیو فرکانسی تلفن همراه، دماسنج متصل به سیستم کامپیوتر بود و تغییرات دمایی بافت توسط نرم افزار ثبت شد. این پژوهش در فاصله ۴ میلی متر و ۴ سانتی متری تلفن همراه از بافت مغز برای هر سه عمق ۲ و ۱۲ و ۲۲ میلی متری انجام شد. در نهایت تغییرات دمایی نسبت به زمان بدست آمد.

۳. یافته ها

به منظور بررسی واکنش متفاوت دمای عمق های مختلف بافت مغز در مواجهه با امواج رادیو فرکانسی تلفن همراه، بافت مغز گاو در سه عمق ۲ mm، ۱۲ و ۲۲ و در فواصل ۴ mm و ۴ cm از تلفن همراه در قبل، حین و بعد از قطع تماس مورد بررسی قرار گرفت.

۴ cm در هر سه عمق نسبت به زمان مواجهه کاهش داشت اما در مقایسه با دمای پایه بالا بود. به بیان دیگر با قطع مواجهه بافت مغز با تلفن همراه دمای بافت بعد از ۱۵ min به دمای پایه برگشت و دمای بافت مغز حتی بعد از قطع مواجهه بالاتر از دمای پایه بود و در زمان بعد از قطع مواجهه با تلفن همراه دمای بافت در عمق ۲۲ mm بیشتر از سایر عمق‌ها بود. جدول ۲ مقدار دمای بافت مغز در عمق‌های مختلف بعد از قطع مواجهه با تلفن همراه را نشان می‌دهد.

جدول (۲): مقدار دمای بافت در عمق‌های مختلف بافت مغز بعد از ۱۵ min قطع مواجهه.

عمق بافت مغز	فاصله ۴ mm بافت	فاصله ۴ cm بافت مغز	پایه	دما (°C)
۲ mm	۱۷/۹۴	۰/۰۳	۱۷/۹۷	۰/۰۳
۱۲ mm	۱۸/۸۵	۰/۱۹	۱۹/۰۴	۰
۲۲ mm	۱۹/۴۶	۰/۲۲	۱۹/۳۸	۰/۰۸

جدول ۳ تغییرات دما نسبت به زمان در حین مواجهه و بعد از قطع مواجهه در هر سه عمق بافت مغز را نشان می‌دهد. در مدت زمان مواجهه ۱۵ دقیقه‌ای بافت با تلفن همراه قشر سفید سریع تر از قشر خاکستری افزایش دما داشت. در واقع با افزایش عمق بافت، مدت زمانی که به حداکثر افزایش دمایی رسیدند کمتر بود به طوری که در فاصله ۴ mm بافت از تلفن همراه در عمق ۲ mm بعد از ۱۴ و ۱۵ ثانیه و عمق ۱۲ mm بعد از ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه و عمق ۲۲ mm بعد از ۱۳ و ۴۰ ثانیه به حداکثر افزایش دما به ترتیب ۱۸/۲۳ و

دمای بافت مغز در عمق ۲ mm (قشر خاکستری مغز) و در فاصله ۴ mm بافت از تلفن همراه در زمان تماس بافت با تلفن همراه به مدت ۱۵ دقیقه، ۰/۲۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای پایه (دمای بافت قبل از مواجهه با تلفن همراه) افزایش یافت. دمای بافت در عمق ۱۲ و ۲۲ mm (قشر سفید مغز) در همین فاصله در زمان تماس بافت با تلفن همراه نیز به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۳۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای پایه بافت نیز افزایش دما داشت.

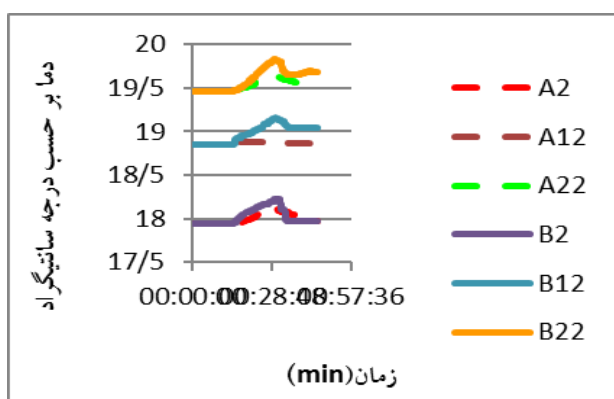
در فاصله ۴ cm بافت از تلفن همراه در عمق‌های ۱۲ و ۲۲ میزان افزایش دمای بافت نسبت به دمای پایه به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۱۷ درجه سانتی‌گراد بود. طبق نتایج به دست آمده در هر دو فاصله ۴ mm و ۴ cm مقدار دمای بافت در عمق ۲۲ mm بیشتر از سایر عمق‌ها بود. جدول ۱ افزایش دمای بافت نسبت به دمای پایه در عمق‌های مختلف بافت مغز در حین مواجهه با تلفن همراه را نشان می‌دهد.

جدول (۱): حداکثر افزایش دمای بافت نسبت به دمای پایه در عمق‌های مختلف بافت مغز در حین مواجهه.

عمق بافت مغز	فاصله ۴ mm بافت	فاصله ۴ cm بافت مغز	دما (°C)
۲ mm	۰/۲۹	۱۷/۹۴	۰/۱۹
۱۲ mm	۰/۳۱	۱۸/۸۵	۰/۰۵
۲۲ mm	۰/۳۷	۱۹/۴۶	۰/۱۷

دمای بافت در مدت زمان ۱۵ min بعد از قطع مواجهه با تلفن همراه در فاصله ۴ mm بافت از تلفن در عمق‌های ۲ mm، ۱۲ و ۲۲ به ترتیب ۰/۰۳°C، ۰/۱۹ و ۰/۲۲ و در فاصله ۴ cm بافت از تلفن همراه نیز در عمق‌های ۲ mm، ۱۲ و ۲۲ به ترتیب ۰/۰۳°C، ۰/۰۸ و ۰/۰۸ افزایش دما نسبت به دمای پایه وجود داشت. دمای بافت مغز در فاصله‌های ۴ mm و

همراه، بیشتر از فاصله ۴ cm بود. به طوری که در عمق ۱۲ mm بافت در فاصله ۴ mm و ۴ cm با دمای پایه (°C) ۱۸/۸۵ در زمان مواجهه بافت با تلفن همراه به ترتیب (°C) ۱۹/۱۶ و ۱۸/۹ و در عمق ۲۲ mm بافت در فاصله ۴ mm و ۴ cm با دمای پایه (°C) ۱۹/۴۶ در زمان مواجهه به ترتیب (°C) ۱۹/۸۳ و ۱۹/۶۳ بود. نمودار ۱ مقایسه افزایش دما در بافت مغز در حین مواجهه با تلفن همراه در فاصله های ۴ mm و ۴ cm را نشان می دهد.



نمودار ۱ مقایسه افزایش دما در بافت مغز در حین مواجهه با تلفن همراه در فاصله های ۴ mm و ۴ cm؛ (A2) ضخامت ۲ mm و فاصله ۴ cm؛ (A12) ضخامت ۱۲ mm و فاصله ۴ cm؛ (A22) ضخامت ۲۲ mm و فاصله ۴ cm؛ (B2) ضخامت ۲ mm و فاصله ۴ mm؛ (B12) ضخامت ۱۲ mm و فاصله ۴ mm؛ (B22) ضخامت ۲۲ mm و فاصله ۴ mm.

۴. بحث

مطالعه حاضر واکنش متفاوت دمای عمق های مختلف بافت مغز در مواجهه با امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه را مورد بررسی قرار داد. افزایش دمای بافت در هر سه عمق ۲ mm، ۱۲ و ۲۲ در زمان مواجهه با تلفن همراه به مدت ۱۵ min نسبت به دمای پایه (دمای بافت قبل از مواجهه) مشاهده شد. Rusnani و همکارش در بررسی دمای ناحیه سر و گوش های کاربران در مدت زمان های ۱۵ و ۳۰ دقیقه مواجهه با

۱۹/۱۶ و ۱۹/۸۳ درجه سانتی گراد رسیدند و این حداکثر افزایش دمایی تا پایان زمان ۱۵ دقیقه ای مواجهه با تلفن همراه ثابت بود.

بعد از قطع مواجهه با تلفن همراه به مدت ۱۵ min با افزایش عمق، دمای بافت با سرعت کمتری کاهش یافت به طوری که در فاصله ۴ mm بافت از تلفن همراه دمای بافت در عمق ۲ mm بعد از ۲ دقیقه و ۵۵ ثانیه، در عمق ۱۲ mm بعد از ۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه و در عمق ۲۲ mm بعد از ۱۳ دقیقه و ۱۰ ثانیه به حداکثر کاهش دمایی بعد از قطع مواجهه با تلفن همراه رسیدند. به عبارت دیگر با افزایش عمق بافت مغز در حین مواجهه با تلفن همراه با سرعت بیشتری دمای بافت افزایش یافت و در زمان قطع مواجهه با تلفن همراه دمای بافت با سرعت کمتری کاهش یافت.

جدول (۳): تغییرات دما نسبت به زمان در حین مواجهه و بعد از قطع مواجهه در هر سه عمق بافت مغز.

ضخامت	حین مواجهه	بعد از قطع مواجهه
مدت زمان	مدت زمان	مدت زمان
حداکثر	حداکثر	حداکثر
افزایش دما در فاصله ۴ mm	افزایش دما در فاصله ۴ cm	کاهش دما در فاصله ۴ mm
بعد از ۱۴ دقیقه و ۱۵ ثانیه	بعد از ۱۳ دقیقه و ۴۵ ثانیه	بعد از ۱۱ دقیقه و ۵ ثانیه
بعد از ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه	بعد از ۱۳ دقیقه و ۱۵ ثانیه	بعد از ۱۱ دقیقه و ۱۰ ثانیه
بعد از ۱۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه	بعد از ۱۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه	بعد از ۱۲ دقیقه و ۱۵ ثانیه
ثانیه	ثانیه	ثانیه

میزان افزایش دما در فاصله ۴ mm بافت مغز از تلفن همراه در هر دو حالت زمان مواجهه و بعد از مواجهه با تلفن

افزایش دما سبب تغییرات داخلی بافت به ویژه قشر سفید مغز شود و بر نحوه و میزان فعالیت سلولی آن تأثیر گذاشته و در نهایت سبب اختلالات بافتی گردد.

اغلب اثرات بیولوژیک خطرناک در رابطه با امواج تلفن همراه بر روی انسان به اثرات ناشی از افزایش دما نسبت داده شده است. به گونه‌ای که مقادیری از امواج تلفن همراه با عبور از یک محیط توسط جریان یونی القا شده از سوی میدان الکتریکی و ارتعاش مولکول‌های قطبی به صورت گرما به بدن انسان منتقل می‌شود [۱۵]. Wessapan و همکاران در پژوهش خود نشان دادند، در اثر مواجهه با تلفن همراه مقدار گرمای تولید شده در بافت مغز بیشتر از پوست است زیرا مغز بافتی با متابولیک بالا در تولید گرما می‌باشد در نتیجه در بافت مغز نسبت با سایر بافت‌ها با متابولیک پایین در تولید گرما، دما بیشتر است. خون‌رسانی بالای بافت پوست برای پایین نگه داشتن دمای بافت نقش مهمی ایفا می‌کند در حالی که خون‌رسانی بافت مغز در مقایسه با پوست کمتر است و همین امر سبب می‌شود که دمای بافت مغز بیشتر بالا رود. [۱۳].

با افزایش دمای مغز، سریعاً جریان خون مغزی افزایش می‌یابد و واکنشهای خودتنظیمی حرارتی جنبی فعال می‌شود. اندازه‌گیری پاسخ‌های خودکار قلب و ارزیابی جریان خون مغز به عنوان شواهد غیر مستقیم از فعل و انفعال گردش خون و تنظیم درجه حرارت در حین مواجهه با امواج رادیوفرکانسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب تکرار مواجهه با تلفن همراه، افزایش دمای بافت در حین مواجهه و بالا بودن دمای بافت مغز حتی مدتی پس از مواجهه با گذشت زمان اثرات نامطلوبی بر سلامتی مغز می‌گذارد [۶]. در مطالعه‌ی انجام شده توسط Beason و همکارش در رابطه با تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر مغز، نشان دادند که امواج مشابه سیستم ارتباطی تلفن همراه می‌تواند در ۵۲٪ موارد منجر به افزایش فعالیت نورونی مغز و در ۱۷٪ موارد منجر به کاهش فعالیت

تلفن همراه گزارش نمودند دما در ناحیه ی سر و گوش‌های کاربران در زمان مواجهه با تلفن همراه افزایش می‌یابد که با افزایش مدت زمان مکالمه میزان افزایش دما در این نواحی بیشتر می‌شود. آنها نشان دادند مواجهه‌ی سر با تلفن همراه در مدت زمان ۳۰ - ۱۵ min دما در این ناحیه ۲/۹ - ۰/۳ درجه سانتیگراد افزایش داشت [۱۰]. در هر دو فاصله ۴ mm و ۴ cm بافت مغز از تلفن همراه نه تنها دمای بافت در عمق ۲۲ mm در زمان مواجهه بیشتر از سایر عمق‌ها بود بلکه در زمان بعد از قطع مواجهه نیز بالاتر بود. به بیان دیگر با افزایش عمق بافت، دمای بافت مغز نیز افزایش بیشتری داشت. این نتیجه نشان داد، عمق ۲۲ mm بافت مغز که همان قشر سفید مغز را تشکیل می‌دهد در مقایسه با سایر عمق‌های بافت مغز به اثر حرارتی امواج رادیوفرکانسی حساس‌تر است. هرچه لایه‌های بافت بیشتر باشد دمایی که در آن تجمع می‌کند بیشتر است در نتیجه احتمال دارد اثراتی که به علت استفاده از تلفن همراه ایجاد می‌شود در بافت‌های عمقی بیشتر باشد از طرفی نیز امکان دارد بافت‌های عمقی (قشر سفید مغز) حساسیت بیشتری در مواجهه با تلفن همراه داشته باشند و این حساسیت با جذب بیشتری انرژی و در نتیجه افزایش بیشتر دما بروز کند. طبق یافته‌های این مطالعه، دمای بافت مغز با افزایش عمق بافت در حین مواجهه با تلفن همراه در مقایسه با سایر عمق‌ها با سرعت بالا و در مدت زمان کمتری افزایش یافت و در زمان قطع مواجهه با تلفن همراه دمای بافت با سرعت کمتر و در مدت زمان بالاتری کاهش داشت. شاید بتوان علت افزایش بالاتر دما در عمق ۲۲ mm بافت مغز در مدت زمان کمتر و کاهش دمای آن در مدت زمان بیشتر را به خون‌رسانی کمتر و عملکرد بالای مغز در تولید گرما در مقایسه با سایر بافت‌ها دانست که با افزایش عمق این دو ویژگی تأثیر خود را بیشتر نشان می‌دهند. بنابراین با توجه به اثر حرارتی امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه در عمق بالاتر مغز احتمال دارد

نورونی مغز گردد [۱۶]. نتایج حاصل از برخی مطالعات همه گیرشناسی نشان می‌دهد که امواج تلفن همراه حتی با چگالی توان کمتر از حد مجاز باعث بروز علائمی مانند سردرد، احساس گرما در گوش، ضعف حافظه و خستگی می‌شود [۱۷]. مرتضوی و همکاران در مطالعه تأثیر امواج ناشی از تابش تلفن همراه بر علائم حیاتی کاربران ارتباط معنی داری بین استفاده از تلفن همراه و اختلال در توجه، یادگیری و تمرکز کاربران به دست آوردند [۱۸].

تأثیر منفی امواج حاصل از تلفن همراه بر روی فعالیت‌ها و توانایی‌های مغز در برخی مطالعات به اثبات رسیده است [۲۰-۱۸]. Papageorgiou (۲۰۰۶) بیان نمود استفاده از تلفن همراه امکان دارد توانایی‌ها و عملکردهایی را در نواحی خاصی از مغز کاهش دهد و بر روی حافظه تأثیر بگذارد [۲۱]. Koivisto و همکاران در بررسی میدان الکترومغناطیسی تلفن همراه گزارش نمودند، امواجی که تلفن همراه منتشر می‌شود منجر به کاهش حافظه اجرایی و تغییرات رفتاری در انسان می‌شود که به صورت افزایش زمان پاسخ به محرک ثبت شد [۲۲]. Saikhedkar و همکاران اثرات تابش امواج تلفن همراه بر ساختار و عملکرد مغز موش را مورد مطالعه قرار دادند، گزارش نمودند امواج تلفن همراه می‌تواند سبب افزایش سطح اضطراب و کاهش یادگیری در موش‌ها شود [۲۳].

در مطالعه‌ای بیان شد امواج تلفن همراه سبب تغییرات قابل ملاحظه‌ای در میزان غلظت دوپامین، نوراپی نفرین و سروتونین در چهار ناحیه‌ی هیپوکامپ، هیپوتالاموس، بصل مغز میانی و مدولا در مغز موش‌های بالغ می‌شوند. این تغییرات در مقدار غلظت میانجی‌های عصبی می‌تواند در ایجاد اضطراب و مشکلات مربوط به حافظه و یادگیری مؤثر باشد [۲۴]. نتایج مطالعه حاضر نشان داد در زمان مواجهه با تلفن همراه، کاهش فاصله‌ی بافت مغز با تلفن همراه سبب افزایش بالای دمای بافت می‌شود. به عبارت دیگر با افزایش فاصله تلفن همراه از

بافت مغز تأثیر حرارتی امواج رادیو فرکانسی موبایل کاهش یافت. فاصله بافت مغز تا تلفن همراه با میزان افزایش دمای بافت رابطه معکوس داشت که با افزایش فاصله، افزایش کمتری در دمای بافت مغز مشاهده شد.

Hossain و همکارانش گزارش نمودند که با افزایش فاصله سر از آنتن تلفن همراه مقدار جذب ویژه (SAR) کاهش پیدا می‌کند [۲۵]. Kivekas و همکاران در بررسی عملکرد داخلی تلفن همراه و ارتباط بین فاصله آنتن تلفن همراه از بدن و مقادیر SAR گزارش نمودند، آسان‌ترین روش برای کاهش مقدار جذب ویژه، افزایش فاصله کاربر از آنتن تلفن همراه می‌باشد [۲۶].

Hirata و همکاران بیان کردند چندین فاکتور بر مقدار جذب ویژه امواج الکترومغناطیسی مؤثر است که می‌توان به اندازه بافت مواجهه، ویژگی‌های الکتریکی بافت و فاصله بین منبع امواج الکترومغناطیسی و بدن فرد اشاره کرد [۲۷].

۵. نتیجه‌گیری

میزان دمای بافت مغز با افزایش عمق بافت در هر دو فاصله ۴ mm و ۴ cm بافت از تلفن همراه افزایش بالاتری داشت و تأثیر حرارتی امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه در عمق‌های بالاتر بافت مغز به خوبی قابل مشاهده بود به طوری که در زمان بعد از قطع مواجهه با تلفن همراه میزان دمای بافت در هر سه عمق ۲ mm، ۱۲ و ۲۲ نسبت به دمای پایه بالا بود ولی در عمق ۲۲ mm دمای بافت بالاتر بود.

عمق‌های بالاتر بافت مغز در مواجهه با تلفن همراه بیشترین تأثیرپذیری را از امواج رادیوفرکانسی تلفن همراه داشتند که این تأثیرپذیری عمق‌های بالاتر بافت مغز با افزایش بیشتر دما در مدت زمان کمتر در حین مواجهه و کاهش دمای بافت در مدت زمان بیشتر بعد از قطع مواجهه نسبت به سایر عمق‌ها کاملاً مشهود بود. در واقع دما در قشرهای خاکستری و سفید

مغز حتی بعد از مواجهه حالت تجمعی داشته و این تجمع دما در عمق‌های بالاتر که قشر سفید مغز می‌باشد، بیشتر بود. از طرفی فاصله بافت مغز با تلفن همراه در میزان افزایش دمای بافت تأثیر واضح و مشخصی داشت به طوری که با افزایش فاصله میزان افزایش دمای بافت کاهش یافت. فاصله بافت مغز با تلفن همراه پارامتری بسیار مهم در کاهش اثرات حرارتی ناشی از امواج تلفن همراه در این مطالعه مطرح شد.

این تفاوت دمایی در عمق‌های مختلف مغز به ناهمگن بودن بافت مغز طی حرکت از سمت قشر مغز به عمق آن به عبارت دیگر تغییر بافت خاکستری به بافت سفید می‌باشد زیرا قشر خاکستری مغز میزان آب بیشتر و چربی کمتر و در مقابل بافت سفید مغز دارای چربی بیشتری می‌باشد. از طرفی دمای بهینه‌القای در عمق‌های مختلف با توجه به متغیرهای متفاوتی چون فرکانس امواج و جهت تابش نیز سبب تفاوت دمایی در عمق‌های مختلف مغز می‌شود که تمامی این موارد می‌بایست در طی مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد. این مطالعه نشان می‌دهد که بافت مغز به دنبال تماس با امواج الکترومغناطیس ناشی از گوشی موبایل دچار افزایش دما می‌شود. گرچه خود

این افزایش دما می‌تواند مانند آنچه در افزایش دمای ناشی از هیپرترمی، تب و یا گرم‌زدگی دیده می‌شود، در عملکرد مغزی ایجاد اشکال نماید. نکته مهم‌تر از نظر محققین این مطالعه استفاده از شاخص افزایش دمای بافت به عنوان شاخصی از تماس با میدان‌های الکترومغناطیس است. زیرا آنچه که مسلم است امواج الکترومغناطیس اثرات متفاوتی بر بافت زنده بصورت فیزیکی، الکتروفیزیولوژیک، الکتروشیمیایی خواهند داشت که ناشی از اثر متقابل این امواج با ماده بوده و غیرقابل اجتناب می‌باشند.

این موضوع که تأثیر این امواج یا به عبارت صحیح‌تر تماس با این امواج را بتوان مشاهده و ثبت نمود خود معرفی برای پیش‌بینی اثرات ذکر شده و عوارض احتمالی متعاقب آن می‌باشد.

۶. قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند صمیمانه از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و مسئول آزمایشگاه عوامل زیان‌آور فیزیکی دانشکده بهداشت تشکر و قدردانی نمایند.

- [1] Khadrawy Y, Ahmed NA, Ezz HSA, Radwan N. Effect of electromagnetic radiation from mobile phone on the levels of cortical amino acid neurotransmitters in adult and young rats. *Romanian J Biophys.* 2009;19(4):295-305.
- [2]. Anguera J, Andújar A, Huynh M-C, Orlenius C, Picher C, Puente C. Advances in antenna technology for wireless handheld devices. *International Journal of Antennas and Propagation.* 2013;2013:1-25.
- [3]. Khurana VG, Teo C, Kundi M, Hardell L, Carlberg M. Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data. *Surgical neurology.* 2009;72(3):205-14.
- [4]. Lahiri B, Bagavathiappan S, Soumya C, Jayakumar T, Philip J. Infrared thermography based studies on mobile phone induced heating. *Infrared Physics & Technology.* 2015;71:242-51.
- [5]. Develi I, Sorgucu U. Prediction of temperature distribution in human BEL exposed to 900MHz mobile phone radiation using ANFIS. *Applied Soft Computing.* 2015;37:1029-36.
- [6]. Lindholm H, Alanko T, Rintamäki H, Kännälä S, Toivonen T, Sistonen H, et al. Thermal effects of mobile phone RF fields on children: a provocation study. *Progress in biophysics and molecular biology.* 2011;107(3):399-403.
- [7]. Khalatbari S, Sardari D, Mirzaee AA, Sadafi HA. Calculating SAR in two models of the human head exposed to mobile phones radiations at 900 and 1800 MHz. *PIERS Online.* 2006;2(1):104-9.
- [8]. Golmohammadi R, Kamalini M, Abed K, Karim S, Eshagh M. Investigating the Electromagnetic Fields of Common Cell Phones and Self-reported Symptoms of Users. *Journal of Ergonomics.* 2014;2(1):1-7.
- [9]. Perrin A, Cretallaz C, Collin A, Amourette C, Yardin C. Effects of radiofrequency field on the blood-brain barrier: A systematic review from 2005 to 2009. *Comptes Rendus Physique.* 2010;11(9-10):602-12.
- [10]. Rusnani A, Norsuzila N, editors. Measurement and analysis of temperature rise caused by handheld mobile telephones using infrared thermal imaging. *RF and Microwave Conference, 2008 RFM 2008 IEEE International; 2008: IEEE.*
- [11]. Isa R, Pasya I, Taib M, Jahidin A, Omar W, Fuad N, et al. Classification of brainwave asymmetry influenced by mobile phone radiofrequency emission. *Procedia-Social and Behavioral Sciences.* 2013;97:538-45.
- [12]. Anderson V, Rowley J. Measurements of skin surface temperature during mobile phone use. *Bioelectromagnetics.* 2007;28(2):159.
- [13]. Wessapan T, Srisawatdhisukul S, Rattanadecho P. Specific absorption rate and temperature distributions in human head subjected to mobile phone radiation at different frequencies. *International Journal of Heat and Mass Transfer.* 2012;55(1):347-59.
- [14]. Martens L. Electromagnetic safety of children using wireless phones: a literature review. *Bioelectromagnetics.* 2005;26(S7):S133-S7.
- [15]. Alaei P. Introduction to health physics. *Medical Physics.* 2008;35(12):5959.
- [16]. Beason RC, Semm P. Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neuroscience Letters.* 2002;333(3):175-8.
- [17]. Hocking B, Westerman R. Neurological effects of radiofrequency radiation. *Occupational Medicine.* 2003;53(2):123-7.
- [18]. Mortazavi SMJ, Atefi M. The ability of GSM mobile phone users in detecting exposure to electromagnetic fields and the bioeffects of these fields on their vital signs. *Journal of Kerman University of Medical Sciences.* 2015.
- [19]. Kesari KK, Siddiqui M, Meena R, Verma H, Kumar S. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian J Exp Biol* 2013;51(3):187-200.
- [20]. Li H-J, Peng R-Y, Wang C-Z, Qiao S-M, Yong Z, Gao Y-B, et al. Alterations of cognitive function and 5-HT system in rats after long term microwave exposure. *Physiology & behavior.* 2015;140:236-46.
- [21]. Papageorgiou CC, Nanou ED, Tsiafakis VG, Kapareliotis E, Kontoangelos KA, Capsalis CN, et al. Acute mobile phone effects on pre-attentive operation. *Neuroscience Letters.* 2006;397(1):99-103.
- [22]. Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hääläinen H. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport.* 2000;11(8):1641-3.
- [23]. Saikhedkar N, Bhatnagar M, Jain A, Sukhwal P, Sharma C, Jaiswal N. Effects of mobile phone radiation (900 MHz radiofrequency) on structure and functions of rat brain. *Neurological research.* 2014;36(12):1072-9.

- [24]. Ezz HA, Khadrawy Y, Ahmed N, Radwan N, El Bakry M. The effect of pulsed electromagnetic radiation from mobile phone on the levels of monoamine neurotransmitters in four different areas of rat brain. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2013;17(13):1782-8.
- [25]. Hossain M, Faruque MRI, Islam MT. Analysis on the effect of the distances and inclination angles between human head and mobile phone on SAR. *Progress in biophysics and molecular biology.* 2015;119(2):103-10.
- [26]. Kivekas O, Ollikainen J, Lehtiniemi T, Vainikainen P. Bandwidth, SAR, and efficiency of internal mobile phone antennas. *IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility.* 2004;46(1):71-86.
- [27]. Hirata A, Sugiyama H, Fujiwara O. Estimation of core temperature elevation in humans and animals for whole-body averaged SAR. *Progress In Electromagnetics Research.* 2009;99:53-70.