

نقش پالس اکسی متر در تشخیص به موقع هیپوکسی در پرواز

رضا اسلامی^۱، کریم امامی^۲، *علیرضا تک زارع^۳

چکیده

مقدمه: تشخیص به موقع و پیشگیری از هیپوکسی خلبان که باعث ایجاد اختلال در عملکرد برخی از اندامهای حساس و حیاتی وی می شود، می تواند تا حد زیادی از میزان سوانح هوایی ناشی از آن در پرواز بکاهد. لذا این مطالعه با هدف بررسی میزان شیوع بروز هیپوکسی با استفاده از دستگاه پالس اکسی متر بر روی خلبانان در محیط شبیه ساز ارتفاع (اتاق ارتفاع) انجام شد.

روش بررسی: در یک مطالعه مقطعی بر روی ۸۰ نفر از خلبانان مراجعه کننده به اتاق ارتفاع مرکز فیزیولوژی هوایی نهاجا با استفاده از دستگاه پالس اکسی متر میزان اشباع اکسیژن در قبل از قرار گرفتن در موقعیت هیپوکسی و حین تجربه هیپوکسی (در ارتفاع معادل ۲۵ هزار پایی) ثبت گردید. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS استفاده شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که میانگین میزان اشباع اکسیژن افراد حین تجربه هیپوکسی در اتاق ارتفاع حدود ۸۱.۵٪ بود و اکثریت افراد در بازه ۸۹-۸۰٪ دچار علائم هیپوکسی شده بودند. در ۳ مورد (۳.۷٪) علائم زمانی رخ داد که اشباع اکسیژن در محدوده بحرانی (۶۹-۶۰٪) قرار داشت.

بحث و نتیجه گیری: نتیجه مطالعه نشان داد که در برخی افراد با وجود کاهش شدید در میزان اشباع اکسیژن علائمی در شخص به وجود نمی آید و این می تواند منجر به از دست دادن ناگهانی هوشیاری بدون آگاهی قبلی خلبان شود. فن آوری پالس اکسی متر می تواند به خلبانان در تشخیص به موقع هیپوکسی کمک شایانی نماید. به ویژه پالس اکسی مترهای مورد استفاده در هوانوردی جهت تشخیص به موقع هیپوکسی و هشدار به موقع به خلبانان در طول پرواز، می تواند به طور چشمگیری از سوانح هوایی پیشگیری کند.

کلمات کلیدی: هیپوکسی، پرواز، پالس اکسی متری

(سال هجدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۵، مسلسل ۵۷)
تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۴

فصلنامه علمی پژوهشی ابن سینا / اداره بهداشت، امداد و درمان نهاجا
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۶

۱. استادیار، تهران، ایران، مرکز تحقیقات طب هوافضا، دانشکده طب هوافضا و زیرسطحی، دانشگاه علوم پزشکی آجا
۲. کارشناس ارشد مهندسی هوافضا، تهران، ایران، دانشگاه هوایی شهید ستاری
۳. استادیار، تهران، ایران، گروه بیهوشی و مراقبت های ویژه، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران
(مؤلف مسئول) drtakz@gmail.com

مقدمه

بدن انسان از نظر آناتومی و فیزیولوژی جهت زیست در خشکی ها و سطح زمین تطابق یافته است. لذا هنگام پرواز و جداشدن از زمین و قرار گرفتن در ارتفاع، به دلیل کاهش فشار هوا، اکسیژن کمتری به بافتهای بدن رسیده و فرد دچار هیپوکسی می گردد [۱]. هیپوکسی می تواند با ایجاد اختلال در عملکرد برخی از اندامهای حساس و حیاتی خلبان، به سوانح هوایی جبران ناپذیری منجر گردد، لذا تشخیص به موقع هیپوکسی و پیشگیری از آن می تواند تا حد زیادی از میزان سوانح هوایی ناشی از آن در پرواز بکاهد [۲].

جهت درمان و پیشگیری از هیپوکسی دستورالعمل های استاندارد ارائه شده است، اما جهت تشخیص به موقع هیپوکسی در پرواز، ما هیچ ابزاری به جز تشخیص خود خلبان نداریم. به عبارت دیگر خلبان ابتدا بایستی هیپوکسی را در اتاق ارتفاع تجربه کرده و علامت مربوطه را دریافت کرده باشد تا در شرایط پرواز واقعی، موقع بروز آن حالت در بدن خود، متوجه بروز هیپوکسی شده و بلافاصله شروع به انجام دستورالعمل مربوطه جهت درمان آن نماید. اما در بسیاری از موارد هیپوکسی آنقدر خفیف است که اصلاً خلبان متوجه بروز آن نمی گردد یا زمانی متوجه آن می گردد که دیگر خیلی دیر شده است، چرا که در این وضعیت خلبان TUC^۱ (مدت زمان مفید هوشیاری) خود را از دست داده است، در نتیجه سطح هوشیاری، قدرت تشخیص و تصمیم گیری وی کاهش یافته و عملاً جهت رهایی از این وضعیت، هیچ کاری از دست وی ساخته نیست [۱].

تا ارتفاع ۱۰ هزار پایی (۳۰۵۰ متر) میزان اشباع اکسیژن در افراد طبیعی ۹۸-۹۰٪ است که به آن «محدوده نامحسوس»^۲ نیز می گویند. اگر چه هیچ علامت هشداردهنده و یا اختلال محسوسی در این محدوده به وجود در خلبان به وجود نمی آید، ولی دید در شب در ارتفاع ۵ هزار پایی کاهش می یابد که این

اختلال می تواند فرد را در انجام وظایف و در صورت لزوم داشتن ابتکار عمل، ناتوان نماید. در محدوده ارتفاع ۱۵-۱۰ هزار پایی (۴۵۵۰-۳۰۵۰ متر) فشار اشباع اکسیژن بین ۸۹-۸۰٪ خواهد بود که به آن «محدوده جبرانی»^۳ اطلاق می شود. در این مرحله افزایش میزان تنفس، ضربان قلب و فشارخون سیستمیک برای جبران کاهش اکسیژن رخ خواهد داد. در افراد سالم این مرحله نیز می تواند بدون علامت باشد در حالی که در بسیاری افراد علایمی از قبیل تهوع، سرگیجه، بی حالی، سردرد، خستگی و دلهره ممکن است آغاز شود. پس از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه قرار گرفتن در ارتفاع ۱۵-۱۲ هزار پایی (۴۵۵۰-۳۶۶۰ متر) قضاوت فرد ضعیف شده، کاهش بهره وری در وی ایجاد می گردد، اختلال هماهنگی و افزایش تحریک پذیری رخ خواهد داد. در ارتفاع ۲۰-۱۵ هزار پایی (۶۱۰۰-۴۵۵۰ متر) میزان اشباع اکسیژن ۷۹-۷۰٪ خواهد بود که به آن «مرحله اختلال»^۴ گفته می شود. فرآیندهای فیزیولوژیکی در این مرحله نمی تواند کاهش اکسیژن را جبران کند و حتی افرادی که در حال استراحت باشند (بدون فعالیت) نیز آگاهانه علایم کاهش اکسیژن را درک می کنند. در این مرحله علایم فرد از قبیل ولع تنفس، سردرد، بی خوابی، کاهش سطح هوشیاری و تهوع برجسته تر است. حواس فرد تضعیف شده که با اختلال در حدت بینایی^۵ به دلیل اختلالات تاری دید، دید تونلی و تمایز رنگ خود را نشان می دهد. ضعف، بی حسی، مور مور شدن و کاهش حس درد و تماس رخ خواهد داد. اختلال شدید در زمان واکنش، حافظه کوتاه مدت، تکلم و نوشتن در فرد ایجاد می شود و کمی پیاده روی باعث می شود محاسبات وی غیر قابل اطمینان گردد. رفتار به صورت تهاجمی، جنگجویانه، یوفوری (شیدایی)، اعتماد به نفس بیجا و کج خلقی خود را نشان می دهد و اختلال در هماهنگی عضلات باعث غیرممکن شدن انجام حرکات ظریف و ریز می شود. سیانوز مرکزی علی رغم

3. Compensatory Stage
4. Disturbance Stage
5. visual acuity

1. Time of useful consciousness (TUC)
2. Indifferent Stage

افزایش قابل توجه میزان تنفس ممکن است قابل مشاهده باشد و اسپاسم عضلات و تنگی ناشی از کاهش سطح دی اکسید کربن خون (هیپوکاپنی) ممکن است رخ دهد. هرگونه فعالیت فیزیکی در این مرحله می تواند منجر به تشدید قابل توجه علائم و نشانه ها گردد و به سرعت فرد را به سمت عدم هوشیاری پیش برد. در ارتفاع بالای ۲۰ هزار پایی (۶۱۰۰ متر) میزان اشباع اکسیژن به ۶۹-۶۰٪ کاهش یافته که به آن «مرحله بحرانی»^۱ اطلاق می گردد. علائم ذکر شده قبل که ممکن است نادیده گرفته شوند، دیگر کاملاً قابل مشاهده بوده به طوری که عملکرد مغزی و کنترل عصبی - عضلانی فرد به سرعت ساقط می شود. علاوه بر مواردی که در «مرحله اختلال» ذکر شد، تشدید علائم باعث پرش های شدید میوکولونیک در اندام فوقانی، تشنج گراندمال و بیهوشی می گردد که اغلب فاقد علائم هشدار و یا با علائم هشداردهنده بسیار ناچیز رخ می دهند. به محض اینکه هیپوکسی رخ دهد، بلافاصله تخریب غیر قابل برگشت مغزی افزایش یافته و به فاصله کوتاهی مرگ رخ خواهد داد [۲].

بر اساس یکی از مأموریت های طب هوا فضا، پیشگیری از هیپوکسی امری بسیار مهم است. ارزیابی میزان اکسیژن و فشار مناسب آن منجر به درک صحیح از وضعیت بالینی فرد و نیازهای وی حین پرواز خواهد شد. پس از آن، تشخیص علائم و نشانه ها حائز اهمیت است. توانایی در پایش مناسب حین پرواز (مثل استفاده از پالس اکسی متر) از اهمیت خاصی برخوردار است تا از هرگونه حادثه ناگواری ناشی از هیپوکسی در ارتفاع جلوگیری شود [۲].

پالس اکسی متری از رایج ترین روش های غیر تهاجمی برای نظارت بر سطح اکسی هموگلوبین خون است و برآورد تفسیری و قابل اعتمادی از اشباع اکسیژن خون شریانی را فراهم می کند [۳]. هیپوکسی شدید در مدت زمان بسیار کوتاه (۲ دقیقه) بی ضرر است. لذا از سال ۱۸۴۴ دندانپزشکان از نیتروز اکساید

(N₂O) ۱۰۰٪ به منظور کشیدن دندان استفاده می کردند و سیانوزه کردن به مدت یک قرن مورد استفاده قرار می گرفت. مرگ و میرها به علت ایست تنفسی ناشی از بیهوشی های درمانی ایجاد شد. لیلاند کلارک^۲ در سال ۱۹۵۴ دستگاهی اختراع کرد که از یک الکتروود جهت اندازه گیری اکسیژن خون استفاده می کرد تا فشار اکسیژن را از طریق پوست اندازه گیری کند. این وسیله از سال ۱۹۷۲ برای تنظیم اکسیژن دستگاه های تنفس مصنوعی برای پیشگیری از نایبایی ناشی از مسمومیت با اکسیژن در نوزادان نارس استفاده شد. اکسی متری برای هشدار در هوانوردان نظامی پس از جنگ جهانی دوم مورد استفاده واقع شد ولی به طور روتین از آن جهت پایش اکسیژن استفاده نشد تا زمانی که تاکوآویاگی^۳ در سال ۱۹۷۳ برای اندازه گیری میزان اشباع شریانی معادله ای را کشف کرد که از نسبت نور قرمز و مادون قرمز منتقله از بافت و تغییر آن با پالس شریانی، استفاده می کرد. پالس اکسی متری (۱۹۸۲) در نتیجه بهبود همزمان در فن آوری های مختلف از قبیل دیود نور قرمز و مادون قرمز، حسگرهای کوچک و سبک و میکروتراشه های کامپیوتری ایجاد شد. پایش مداوم راه هوایی و اکسیژن در بیهوشی پس از سال ۱۹۸۰ بسیار رایج شد و از زمانی که پالس اکسی متری به صورت جهانی مورد استفاده قرار گرفت، مرگ و میر ناشی از بیهوشی بین سال های ۱۹۸۵ و ۲۰۰۰ به میزان ۱۰ برابر کاهش یافت (هر چند در این مورد هیچ مدرکی دال بر رابطه سببی با پالس اکسی متری وجود ندارد). در حال حاضر همه متخصصین بیهوشی از خطرات ناشی از هیپوکسی طولانی مدت بیشتر آگاه شده اند که شاید ناشی از استفاده رایج از پالس اکسی متر باشد [۴].

پالس اکسی متر سالهاست که به طور گسترده ای در پزشکی جهت نظارت بر میزان اکسیژن خون بدن بیماران استفاده می شود، به طوری که در بسیاری از کشورها، به شیوه استاندارد مراقبت در اتاق های عمل، واحد مراقبت های ویژه و بخش های

2. Leland Clark
3. Takuo Aoyagi

1. Critical Stage

وارد مطالعه شدند. خلبانان در بازه‌های زمانی مشخص باید در اتاقی معروف به «اتاق ارتفاع» رفته تا در این اتاق مخصوص شرایط پرواز در ارتفاع بالا شبیه سازی شود (حداقل فشار هوا در ۲۵ هزار پایی) و با کاهش تدریجی اکسیژن فرد از بروز علائم ناشی از هایپوکسی در بدن خویش آگاه شود.

در ابتدا پروتکل مطالعه به افراد توضیح داده شد و تمام خلبانان شرکت کننده در این مطالعه با رضایت و همکاری کامل وارد مطالعه شدند. در یک فرم اطلاعاتی، داده‌های دموگرافیک مثل سن و نوع خلبان و همچنین داده‌های اولیه فیزیولوژیک از قبیل مقادیر درصد اشباع اکسیژن خون شریانی و تعداد ضربان قلب ثبت گردید. سپس به اتفاق پزشک متخصص درون اتاق ارتفاع رفته و با بسته شدن درب، شرایط پرواز در ارتفاع بالا به وجود آورده شد. بعد از رسیدن به سقف پروازی مورد نظر که در این مطالعه ۲۵ هزار پایی بود، پزشک از خلبانانی که روی صندلی نشسته بودند و از ابتدا ماسک اکسیژن به بینی خود نصب کرده بودند، درخواست می‌کرد ماسک‌ها برداشته شود (یعنی عملاً در شرایط کاهش شدید اکسیژن قرار گیرند). قبلاً توصیه‌ها و آموزش‌های لازم مبنی بر نصب سریع ماسک به محض احساس ناراحتی به افراد داده شده بود. در زمان نصب مجدد ماسک، مجدداً مقادیر درصد اشباع اکسیژن خون شریانی و تعداد ضربان قلب ثبت گردید.

ثبت درصد اشباع اکسیژن و ضربان قلب توسط دستگاه پالس اکسی متر انگشتی آمریکایی مدل اکسی‌واچ ساخت شرکت چویسمد^۱ انجام شد. دامنه اندازه‌گیری اشباع اکسیژن بین صفر تا ۱۰۰٪ و دامنه اندازه‌گیری ضربان قلب بین ۳۰ تا ۲۵۰ در دستگاه ثبت می‌شد. همچنین دقت اندازه‌گیری این پالس اکسی متر در مورد درصد اشباع اکسیژن به میزان ۲٪ خطا گزارش شده بود. تقسیم‌بندی درصد اشباع اکسیژن نمونه‌ها در چهار طبقه انجام گرفت: «مرحله نامحسوس»، «مرحله جبرانی»، «مرحله اختلال» و «مرحله بحرانی» که به ترتیب

بیمارستانی تبدیل شده است. اخیراً مطالعات گسترده‌ای در برخی از کشورهای پیشرفته در عرصه طب هوافضا در دنیا به ویژه در مرکز تحقیقات پزشکی نیروی دریایی آمریکا در جهت استفاده از دستگاه پالس اکسی متر به منظور کنترل لحظه به لحظه میزان اکسیژن خون خلبان در طول پرواز، جهت تشخیص به موقع و پیشگیری از هایپوکسی داخل کابین خلبان، انجام گرفته و برخی هم در حال انجام است [۵]. اما از آنجایی که تحقیقات در این زمینه، محیط، ابزار، افراد و شرایط خاصی را می‌طلبد، لذا از این حیث بسیار دشوار بوده و منحصر به یک سری سازمان‌های خاص هوایی و هوایی‌مایی است، از طرف دیگر چون تحقیقات در این عرصه، در وهله اول جهت اهداف نظامی (استفاده در هواپیماهای نظامی به ویژه جنگنده‌ها) است، لذا به نوعی اسرار نظامی آن کشورها محسوب می‌شود، از این رو ما در حال حاضر اطلاع دقیقی از میزان تحقیقات و موفقیت محققان خارجی در این زمینه نداریم. در این تحقیق، با توجه به وجود بستر مناسب در مرکز فیزیولوژی هوایی نهجا، امکان استفاده از این تکنولوژی به عنوان یکی از جدیدترین تکنولوژی‌های مورد مطالعه در تشخیص هایپوکسی داخل کابین، در بین خلبانان مراجعه‌کننده به اتاق ارتفاع، جهت امکان سنجی استفاده از آن در تشخیص هایپوکسی داخل کابین خلبان در شرایط پرواز واقعی مورد مطالعه قرار گرفته است. لذا این مطالعه با هدف بررسی میزان شیوع بروز هایپوکسی با استفاده از دستگاه پالس اکسی متر بر روی خلبانان در محیط شبیه ساز ارتفاع (اتاق ارتفاع) انجام شد.

روش بررسی

نوع تحقیق انجام گرفته، کاربردی و روش تحقیق به صورت مقطعی انجام گرفت. جامعه پژوهش خلبانان (شکاری، ترابری و دانشجوی خلبانی) نیروی هوایی ارتش جمهوری اسلامی بودند. از این افراد تعداد ۸۰ نفر از خلبانان مراجعه‌کننده به اتاق ارتفاع مرکز فیزیولوژی هوایی نهجا به صورت نمونه‌گیری در دسترس طی مدت حدود ۴ ماه در سال ۱۳۹۴

1. SpO₂ device (OxyWatch TM Finger Pulse Oximeter, Choicemmed, Philadelphia, USA)

جدول ۱- مقادیر ثبت شده میزان اشباع اکسیژن و ضربان قلب در افراد مورد مطالعه

مرحله هیپوکسی	تعداد (درصد)	میانگین	
		اشباع اکسیژن	ضربان قلب
نامحسوس	۳ (۳/۷٪)	۹۰٪	۸۵
جبرانی	۵۵ (۶۸/۷٪)	۸۴٪	۱۰۵
اختلال	۱۹ (۲۳/۷٪)	۷۵٪	۱۰۹
بحرانی	۳ (۳/۷٪)	۶۸٪	۱۱۳

شبیه‌ساز پرواز در اتاق ارتفاع، ۸۰ نفر از خلبانان از نظر تجربه هیپوکسی مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه اکثریت شرکت کنندگان در محدوده جبرانی اشباع اکسیژن شریانی احساس هیپوکسی کردند. این در حالی است که در برخی (۳ نفر) حتی با وجود رسیدن به مرحله بحرانی که میزان اشباع اکسیژن به زیر ۷۰٪ می‌رسد، این احساس به وجود نیامد و خطر در مورد این افراد نیز در حین پرواز بیشتر است. چون عدم درک در کاهش اکسیژن می‌تواند باعث عدم دریافت اکسیژن شود و در نتیجه صدمات ناگوار ناشی از بیهوشی ناگهانی در پرواز را به دنبال داشته باشد. همچنین از طرف دیگر با توجه به اینکه میانگین اشباع اکسیژن اولیه نمونه‌ها در محدوده طبیعی بود لذا با شروع تجربه هیپوکسی این مقدار شروع به کم شدن کرد و زمانی که بدن علائم اولیه هیپوکسی را دریافت کرد، مکانیزم جبرانی بدن، جهت مقابله با هیپوکسی، تعداد و عمق تنفس را افزایش داد، لذا افزایش میانگین ضربان قلب را در حین تجربه هیپوکسی به وجود آمد. مطالعات مختلفی بر روی تأثیر کاهش اکسیژن بر روی خلبانان صورت گرفته است که بررسی اختلال عملکرد به وجود آمده در زمان هیپوکسی در این گروه حساس جنبه توجه بسیاری بوده است.

در سالهای اخیر، پالس‌اکسی‌متری به طور وسیعی در دستگاه‌های قابل پوشیدن جهت پایش قلبی مورد استفاده قرار گرفته است تا به طور غیر تهاجمی میزان اشباع اکسیژن خون و ضربان قلب را اندازه‌گیری کند [۶]. این وسیله در دهه ۱۹۷۰ اختراع شد [۷] و پس از آن به طور مستمر مورد بهینه‌سازی

جدول ۲- مقایسه میانگین اشباع اکسیژن و ضربان قلب اولیه با زمان هیپوکسی

اولیه	تجربه هیپوکسی	درصد اشباع اکسیژن
۹۸/۹٪	۸۱/۷٪	ضربان قلب
۷۶/۴	۱۰۵/۳	

برای درصد اشباع اکسیژن محدوده ۹۸-۹۰٪، ۸۹-۸۰٪، ۷۹-۷۰٪ و ۶۹-۶۰٪ لحاظ شد. کلیه داده‌ها پس از جمع‌آوری وارد نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ گردید و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها

میانگین سنی افراد مطالعه آنها ۳۲/۵ سال بود. از این تعداد ۴۲ نفر خلبان شکاری، ۲۲ نفر خلبان ترابری و ۱۶ نفر دانشجوی خلبانی بودند.

از کل ۸۰ نفر نمونه شرکت‌کننده در این تحقیق، ۳ نفر (۳/۷٪) در مرحله نامحسوس و ۳ نفر (۳/۷٪) هم در مرحله بحرانی دچار علائم هیپوکسی شدند. اکثر موارد علائم هیپوکسی در ۵۵ نفر (۶۸/۷٪) در مرحله جبرانی به وجود آمد. ۱۹ نفر (۲۳/۷٪) هم در مرحله اختلال دچار هیپوکسی شدند. همچنین میانگین درصد اشباع اکسیژن نمونه‌ها در مراحل مختلف هیپوکسی به ترتیب ۹۰٪ در مرحله نامحسوس، ۸۴٪ در مرحله جبرانی، ۷۵٪ در مرحله اختلال و ۶۸٪ در مرحله بحرانی بود. میانگین میزان ضربان قلب در مرحله نامحسوس ۸۵، در مرحله جبرانی ۱۰۵، در مرحله اختلال ۱۱۰ و در مرحله بحرانی ۱۱۳ ضربه در دقیقه بود. (جدول ۱)

نتیجه مطالعه نشان داد که اختلاف بین میانگین درصد اشباع اکسیژن نمونه‌ها قبل و حین تجربه هیپوکسی به میزان ۱۷٪ بود. به عبارت دقیق‌تر میانگین درصد اشباع نمونه‌ها قبل از تجربه هیپوکسی حدود ۱۷ واحد بالاتر از میانگین آن در حین تجربه هیپوکسی بود. نتیجه مطالعه همچنین نشان داد که اختلاف بین میانگین ضربان قلب قبل و حین تجربه هیپوکسی حدود ۳۰ واحد بود. به عبارت دقیق‌تر، میانگین ضربان قلب در حین تجربه هیپوکسی حدود ۳۰ واحد به نسبت میانگین ضربان قلب اولیه افراد افزایش داشت (جدول ۲).

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه ما با استفاده از دستگاه پالس‌اکسی‌متر در مدل

تحت تأثیر قرار بگیرد که می‌تواند با تنفس اکسیژن ۱۰۰٪ اصلاح شود [۱۰].

اختلال حافظه یکی از علائم شایع گزارش شده با قرار گرفتن افراد در معرض هیپوکسی حاد هم در جلسات آموزشی خدمه پرواز (در مورد آگاهی از علائم هیپوکسی) و هم پس از حوادث ناشی از کاهش اکسیژن در حین پرواز بوده است. با این حال، اثرات هیپوکسی حاد بر روی حافظه در شرایط آزمایشگاهی کنترل شده بسیار کم مورد توجه مطالعات بوده است. علاوه بر این، هیچ یک از این مطالعات در شرایط هیپوباریک انجام نشده‌اند. در مطالعه‌ای که توسط مال^۳ و همکارانش (۲۰۱۳) در فرانسه انجام شد [۱۲] به بررسی اثرات حاد هیپوکسی هیپوباریک در حافظه کاری پرداخته شد. این مطالعه همچنین جهت تعیین ارتباطات بین اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی و عملکرد شناختی در طول مواجهه حاد هیپوکسی انجام شد. در مطالعه آنها حین جلسه آموزش آگاهی از هیپوکسی، ۲۸ نفر در سطح ارتفاع شبیه سازی شده ۱۰ هزار متری (۳۱ هزار پایی) در یک محفظه هیپوباریک قرار گرفتند و ۲۹ نفر (گروه شاهد) در ارتفاع معادل سطح دریا ماندند. حافظه عملی در هر دو گروه با استفاده از آزمون PASAT^۴ ارزیابی شد. همچنین اشباع اکسیژن خون محیطی و ضربان قلب ثبت شد. این مطالعه نشان داد که در گروه هیپوکسی حافظه به شدت دچار اختلال شد. یکی از یافته‌های عمده این مطالعه این بود که هیپوکسی به شدت باعث افزایش فراوانی متوسط خطا در افراد می‌شود. عملکرد حافظه به طور خطی با هیپوکسمی کاهش یافت، اگرچه میزان اشباع اکسیژن یک پیش‌بینی‌کننده ضعیف در مورد عملکرد PASAT بود. با توجه به اهمیت حافظه عملی در خلبانان هواپیما و حساسیت آن نسبت به اکسیژن، آنها پیشنهاد کردند که آزمون PASAT در کنار اندازه‌گیری‌های پالس‌اکسی‌متر و الکتروآنسفالوگراف می‌تواند هم برای آموزش هیپوکسی و هم جهت درک ما از اثرات

قرار گرفت. این وسیله بر اساس تشخیص خونرسانی زیرجلدی به وسیله تابش نور به پوست کار می‌کند [۸]. میزان جذب، انعکاس و یا پراکنش نور تابش شده به دلیل تغییرات حجم خون زیر پوست ناشی از ضربان شریانی تغییر می‌کند. در نتیجه میزان شدت نوسانات حاصل از بازتاب و یا عبور نور، به عنوان مثال در دستگاه فتوپلتیسموگراف^۱، می‌تواند ضربان قلب و یا سایر پارامترهای همودینامیک را که با حجم خون موضعی مرتبط باشد، نشان دهد. با استفاده از طول موجهای مختلف نوری و اندازه‌گیری ضرایب جذبی متفاوت در خون دارای اکسیژن و خون فاقد اکسیژن، میزان اشباع اکسیژن نیز قابل اندازه‌گیری است [۹].

در مطالعه‌ای که توسط لگ^۲ و همکارانش (۲۰۱۵) در نیوزلند انجام شد [۱۰]، ۳۶ داوطلب از کارکنان نیروی هوایی به طور متناوب و تصادفی در یک محفظه هیپوباریک به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند و تحت هیپوکسی خفیف ناشی از ارتفاع مشخص (۸ و ۱۲ هزار پایی از سطح دریا) قرار گرفتند، و پس از آن بلافاصله اکسیژن ۱۰۰٪ با استفاده از ماسک دهانی-بینی تنفس کردند. در این مطالعه شناخت پیچیده (تفکر، استدلال، حل مسئله و تصمیم‌گیری که به طور معمول به ترکیب و تعامل فرآیندهای ابتدایی‌تر مانند ادراک، یادگیری، حافظه، احساسات و غیره متکی هستند [۱۱]) و نیز خلق و خوی افراد مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که خلق (خستگی و انرژی) در ۸ هزار پایی ثابت باقی ماند اما در ۱۲ هزار پایی خستگی افزایش ($p=0/001$) و انرژی کاهش یافت ($p=0/035$) و با اکسیژن‌رسانی مکمل دوباره به حالت اول بازگشت. شناخت پیچیده به طور قابل توجهی تحت شرایط آزمایش تغییری نیافت. نتایج حاصل از این مطالعه شواهد قبلی مبنی بر اختلال شناخت پیچیده ناشی از هیپوکسی خفیف در ارتفاع ۸ یا ۱۲ هزار پایی را پشتیبانی نکرد ولی نشان داد که برخی از جنبه‌های خلق و خوی ممکن است در این دو ارتفاع

3. Malle

4. Paced Auditory Serial Addition Test

1. photoplethysmogram

2. Legg

هیپوکسی بر روی حافظه مورد استفاده قرار گیرد [۱۲].

اثر منفی هیپوکسی بر عملکرد شناختی به خوبی توصیف شده است. با این حال، اختلال شناختی ناشی از هیپوکسی در اثر قرار گرفتن در معرض ارتفاعات مختلف کمتر منتشر شده است. در مطالعه‌ای که توسط آسمارو^۱ و همکارانش (۲۰۱۳) در کانادا منتشر شد [۱۳] به بررسی ظرفیت حافظه کوتاه مدت و حافظه کاری (تست رقم^۲)، انعطاف پذیری شناختی و توجه انتخابی (آزمون استروپ رنگ - کلمه: در آن نام یک رنگ با رنگ دیگری که نشانگر نام آن رنگ نیست، نمایش داده می‌شود و زمان واکنش فرد اندازه‌گیری می‌گردد)، و عملکرد اجرایی (آزمون ساخت دنباله^۳) در ابتدا و در ارتفاعات شبیه‌سازی شده برابر با ۱۷ هزار و پانصد پای (۵۳۳۴ متر) و ۲۵ هزار پای (۷۶۲۰ متر) اندازه‌گیری شد تا در مورد نقش ارتفاع بر روی وظایف شناختی که برای عملکرد مطلوب در محیط پرواز مهم هستند، اطلاعات بیشتری به دست آید. نتایج این مطالعه در مورد مشاهدات رفتاری نشان داد که در ارتفاعات مختلف شبیه‌سازی شده، هیپوکسی القا شده بود. کاهش قابل توجهی در عملکرد شناختی نیز برای همه آزمون‌ها در ارتفاع ۲۵ هزار پای مشاهده شد و نمرات نشان داد در این شرایط نسبت به سایر موارد اختلال بیشتری وجود داشت. افراد همچنین در مقایسه با وضعیت پایه در ارتفاع ۱۷ هزار و پانصد پای اختلال بیشتر نشان دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که نسخه‌های الکترونیکی از این آزمایشات ممکن است در غربالگری علائم حاد هیپوکسی مفید باشد و می‌تواند اطلاعاتی مبنی بر چگونگی ایجاد اختلال در فرایندهای شناختی حین مواجهه با کاهش اکسیژن در ارتفاعات مختلف فراهم می‌کند [۱۳].

در زمان کاهش اکسیژن مغز، اختلال در عملکرد عصبی امری شایع است. در مطالعه‌ای که توسط تانر^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در نیوزلند انجام شد [۱۴]، به بررسی فرایندهای عصبی

شناختی در زمان آسیب پذیری ناشی از اکسیژن پرداخته شد. آنها هیپوکسی متوسط تا شدید را در بزرگسالان سالم القا کردند، در نتیجه اختلالات ناشی از کاهش در دسترس بودن اکسیژن برای مغز را ارزیابی کردند. این مطالعه به صورت کارآزمایی بالینی یکسو کور بر روی ۲۲ نفر بزرگسال سالم انجام شد. عملکرد عصبی - شناختی اولیه در شروع مطالعه در طی یک جلسه معارفه مورد بررسی قرار گرفت و شرکت کنندگان به دو گروه هیپوکسی (اکسیژن ۱۰٪) و یا شاهد (اکسیژن ۲۱٪) تقسیم شدند. عملکرد عصبی - شناختی از طریق آزمون کامپیوتری انبار^۵ در طول ۵۰ دقیقه تنفس مخلوطی از گاز که اشباع اکسیژن خون شریانی را میزان ۲۰٪ کاهش می‌داد، بررسی شد. هیپوکسی به شدت باعث کاهش عملکرد در تمام نمرات آزمون عصبی - شناختی شد که کاهش معنی دار ($p < 0.05$) در نمایه شاخص عصبی - شناختی (۲۰٪-)، حافظه مرکب^۶ (۳۰٪-)، حافظه کلامی (۳۴٪-)، حافظه بصری (۲۳٪-)، سرعت پردازش (۳۶٪-)، عملکرد اجرایی (۲۰٪-)، سرعت سایکوموتور (۲۴٪-)، زمان واکنش (۱۰٪-)، توجه پیچیده (۱۹٪-) و انعطاف پذیری شناختی (۱۸٪-) وجود داشت [۱۴].

شناسایی سریع علائم هیپوکسی در خدمه پرواز باعث پیشگیری مؤثر از بلایای مرتبط به آن می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط سیمونز^۷ و همکاران (۲۰۱۲) در آمریکا انجام شد [۱۵] به مقایسه اثربخشی یک اکسی‌متر بازتابی پیشانی و انگشتی برای استفاده در یک سیستم هشدار دهنده تشخیص هیپوکسی پرداخت و همچنین به بررسی قابلیت قراردادی حسگر پیشانی در کلاه ایمنی خلبان پرداخت. افراد ملبس به ماسک پرواز با اکسی‌متر پیشانی، پالس اکسی‌متر انگشتی، کاف فشار خون و حسگر درجه حرارت پوست شدند. سپس به منظور سازگاری با شرایط، به مدت ۱۰ دقیقه از طریق دستگاه کاهش

1. Asmaro
2. Digit Span tasks
3. Trailmaking A and B tests
4. Turner

5. computerised test battery
6. composite memory
7. Simmons

اکسیژن بالاتر از افراد دیگر و برخی ممکن است میزان جریان اکسیژن بالاتر از دیگران نیاز داشته باشند [۱۶].

پالس اکسی متری فن آوری غیر تهاجمی است که بر اساس اندازه گیری تغییر رنگ سلولهای قرمز خون (زمانی اکسیژنه هستند)، ایجاد شده است. پالس اکسی متر بر اساس ارسال یک پرتو نور ویژه به بستر عروق خون مویرگی برای ارزیابی رنگ سلولهای قرمز کار می کند و این وسیله اغلب در نوک انگشت قرار داده می شود و محاسبه درجه اشباع اکسیژن را انجام می دهد. واحد اندازه گیری بسیار دقیق است، به طوری که در مقایسه با دستگاههای تهاجمی مستقیم برای اندازه گیری میزان اشباع اکسیژن خون، این دقت تا حد ۱٪ است. پالس اکسی متر نیاز به انتقال نور دارد تا کار کند. این دستگاه بر روی انگشت قرار داده می شود. به طوری که منبع نوری به بخشی از انگشت که توسط ناخن پوشیده شده است، تابش داده می شود. اگر چه پالس اکسی متر به طور کلی بر روی همه انگشتان کار می کند، در صورتی که ناخن با لاک به خصوص از نوع تیره آن پوشیده نشده باشد، عملکرد آن به طور چشمگیری بهتر خواهد بود [۱۷].

سطح طبیعی اشباع اکسیژن خون از فردی به فردی دیگر متفاوت است و بستگی به عوامل زیادی دارد از جمله سن، وضعیت قلبی - ریوی و نیز ارتفاع. با این حال، به عنوان یک راهنمای کلی، در قرائت پالس اکسی متری بر اساس ارتفاعهای مختلف از سطح دریا می تون اینگونه بیان کرد که اشباع ۱۰۰-٪ در ۹۵٪ در سطح دریا، ۹۳-۸۸٪ در ۱۰ هزار پایی، ۸۳-۸۸٪ در ۱۳ هزار پایی، ۸۰-۷۵٪ در ۱۶ هزار پایی و ۷۵-۷۰٪ را در ۲۰ هزار پایی می توان طبیعی تلقی نمود [۱۶].

این موضوع مهم است که بدانیم میزان اشباع اکسیژن طبیعی با میزان قابل تحمل آن دو مقوله جدا از هم هستند. به عنوان مثال، اگر شما در نزدیکی یا سطح دریا زندگی می کنید، بررسی میزان اشباع اکسیژن با پالس اکسی متر میزان ۹۷٪ را نشان خواهد داد که طبیعی است. حال اگر شما به جکسون هول (واقع در ایالت وایومینگ در مناطق کوهستانی غرب

دهنده اکسیژن تنفسی^۱ از هوای محیط تنفس کردند. این وضعیت (به عنوان پروفایل پایه) با یکی از دو مدل صعودی (برای مدل سازی ارتفاع گیری سریع) دنبال شد. تجزیه و تحلیل داده ها نشان داد که هماهنگی بسیار بالایی بین حسگر پیشانی و انگشتی در تمام محدوده های کاهش اکسیژن وجود داشت. تحلیل در رابطه با حساسیت نشان داد که حسگر پیشانی به طور قابل توجهی سریع تر از خود به تغییرات سریع در اشباع اکسیژن واکنش نشان می دهد. حسگر با موفقیت داخل کلاه ایمنی خلبان قرار داده شد. با این حال، در یک مورد در حسگر کلاه، به دلیل نوسانات ناشی از فشار، آرتیفکت قابل توجهی مشاهده شد. در حالی که نتایج این مطالعه ممکن است به نظر برسد که حسگر پیشانی به تغییرات اشباع اکسیژن ناشی از ارتفاع دقیق و حساس است، اشکالات عمده ای برای فن آوری های مورد استفاده در این مطالعه وجود دارد. بهینه سازی عمده ای با هدف کاهش پارازیت، مهار آرتیفکت حین حرکت و افزایش قابلیت اطمینان به آن مورد نیاز است تا از اندازه گیری های ناصحیح جلوگیری شود [۱۵].

دستورالعمل اداره هوانوردی فدرال آمریکا (FAA)^۲ برای استفاده از اکسیژن مکمل توسط خلبانان در ارتفاعات فشار داخل کابین بالای ۱۲ هزار و پانصد پایی از سطح دریا برای بیش از ۳۰ دقیقه و در تمام طول مدت پرواز بر فراز ارتفاع ۱۴ هزار و پانصد پایی بر اساس مطالعات انجام شده در سال های بسیار قبل است، زمانی که هنوز فن آوری های غیر تهاجمی برای اندازه گیری واقعی اشباع اکسیژن خون که پالس اکسی متری نام دارد، اختراع نشده بود [۱۶].

یک پالس اکسی متر به افراد داخل هواپیما اجازه می دهد نیاز واقعی خود را به اکسیژن به سرعت و به آسانی ارزیابی کنند. با این حال، FAA هنوز هیچ توصیه رسمی برای استفاده از پالس اکسی متری در پرواز ارائه نداده است. برخی از خلبانان و مسافران نیاز به استفاده از اکسیژن مکمل در سطوح اشباع

1. Reduced Oxygen Breathing Device (ROBD)

2. Federal Aviation Administration

ایالات متحده آمریکا)^۱ سفر کنید، در ارتفاع ۶۲۰۰ پایی از سطح دریا، اشباع خود را ممکن است ۹۳٪ بخوانید که آن هم در دامنه طبیعی است. با این حال، هنگامی که شما پیاده روی یا اسکی یا دیگر کارهای شدید در هوای رقیق منطقه جکسون هول را انجام دهید، به سرعت متوجه خواهید شد که تحمل شما به فعالیت به مراتب کمتر از آنچه که شما به آن عادت داشتید، خواهد بود و این به دلیل کمتر بودن میزان اشباع اکسیژن خون است [۱۸].

افرادی که در ارتفاعات بالا زندگی می کنند برای جبران درصد کاهش اشباع اکسیژن، سلول های قرمز خونشان افزایش پیدا می کند. این فرایند تطبیقی نیاز به یک دوره زمانی چند ماهه دارد که ایجاد شود. این پدیده توضیح می دهد که چرا یک فرد که در ارتفاع بالا زندگی می کند می تواند بهتر از یک ساحل نشین آن ارتفاع را تحمل کند، با وجود این که هر دو پالس اکسی متر مشابه در همان ارتفاع دارند. همچنین این پدیده توضیح می دهد که چرا توصیه برای استفاده پالس اکسی متر در پرواز بیشتر باید بر اساس اشباع اکسیژن هر فرد در محل زندگی وی باشد و نه بر اساس یک مقیاس مطلق. در طول پرواز این تمایز بین میزان اشباع نرمال و قابل تحمل از همه مهمتر است. به عنوان مثال، در ۱۲ هزار پایی، یک خلبان ممکن است اشباع اکسیژن ۸۵٪ داشته باشد که در آن ارتفاع کاملاً طبیعی است، ولی خلبان به خوبی آن را تحمل نکند که این می تواند به سادگی منجر به ایجاد مشکلات شناختی (تفکر) گردد که توانایی وی را برای درک وضعیت کلیرنس، محاسبه مصرف سوخت و یا پاسخ متفکرانه به یک وضعیت اورژانسی تحت تأثیر قرار می دهد [۱۶].

علاوه بر ارتفاع، عوامل دیگری نیز باعث کاهش اشباع اکسیژن می شوند، این عوامل از قبیل احتقان خون به دلیل سرما، ناکافی بودن تنفس عمیق (که می تواند در افراد دارای اضافه وزن در حالت نشسته رخ دهد)، بیماریهای زمینه ای ریوی

مانند آسم، مصرف دخانیات (که همچنین باعث مسمومیت با مونوکسید کربن می شوند) و نیز تنفس های دوره ای هستند. تنفس دوره ای پاسخ ناخودآگاه فرد به ارتفاع است که در آن برای چند بار تنفس عمیق دارد، سپس به تدریج شروع به تنفس سطحی کرده تا زمانی که ممکن است قطع تنفس برای چند ثانیه رخ دهد (آپنه) و پس از آن تنفس به طور فزاینده عمیق می شود و این چرخه مرتب تکرار می شود. در طول تنفس کم عمق، اشباع اکسیژن به میزان قابل توجهی کاهش یافته و سپس در طول نفس عمیق دوباره به جای اول برمی گردد. این واقعه را می توان به وضوح به صورت نوسانات موزون در پالس اکسی متر مشاهده کرد که چند بار در دقیقه رخ می دهد. راه حل آن یک تلاش آگاهانه برای تنفس آرام، عمیق و منظم است [۱۷].

از آنجا که هیچ توصیه رسمی برای استفاده از پالس اکسی متر در پرواز وجود ندارد، برخی از دستورالعمل های غیررسمی مختلف ایجاد گردیده است. این دستورالعمل های توصیه می کنند که برای جلوگیری از اختلال فیزیکی و شناختی در حین پرواز، در هر زمان که اشباع اکسیژن فرد به میزان ۱۰٪ از دامنه طبیعی وی در محل زندگی کاهش پیدا کند، اکسیژن مکمل مورد استفاده قرار گیرد [۱۶].

اکثر مردم زمانی که میزان اشباع اکسیژن خونشان به میزان ۵٪ از مقدار طبیعی در محل زندگیشان کاهش یابد، با شروع استفاده از اکسیژن مکمل احساس بهتری کرده و خستگی کمتر دارند. در این دستورالعمل ها در بسیاری از موارد و برای بسیاری از افراد، استفاده از اکسیژن مکمل در ارتفاعات پایین تر از آن چیزی توسط که توسط FAA دستور داده شده است. در یک سیستم اکسیژن رسانی که اجازه تنظیم دستی میزان جریان را بدهد، پالس اکسی متر می تواند برای تنظیم جریان اکسیژن جهت ایجاد میزان اشباع مورد نظر مورد استفاده واقع شود. با این حال، درک این مسأله مهم است که از شروع استفاده از اکسیژن و یا تنظیم جریان، ۱۵ تا ۳۰ ثانیه طول می کشد تا در اکسی متر این اثر نشان داده شود. این مربوط به مدت زمانی

1. Jackson Hole, Wyoming

مبنی بر رسیدن اکسیژن خون وی به مرز هشدار، روشن نماید و زمانی که اشباع اکسیژن خلبان در محدوده ۸۵-۸۰٪ قرار گرفت، این بار علاوه بر روشن شدن چراغ هشدار دهنده (مثلاً با رنگ قرمز) با ارسال یک سیگنال هشدار دهنده به گوش خلبان از طریق هدسیت، وی را از رسیدن اکسیژن به مرز خطر مطلع سازد. علاوه بر این می‌توان این سیستم را طوری با سیستم اکسیژن‌رسانی هواپیما مرتبط ساخت تا در صورت عدم توجه خلبان به چراغ هشدار دهنده قرمز و همچنین صدای هشدار که از طریق هدسیت خلبان به گوش وی می‌رسد، به طور خودکار، جریان اکسیژن را در حالت ۱۰۰٪ یا ۱۰۰٪ تحت فشار قرار داده و اکسیژن را به ریه‌های خلبان هدایت کند و اجازه ندهد که اکسیژن خون خلبان در محدوده خطر قرار بگیرد. در نتیجه از مخاطرات ناشی از هیپوکسی به ویژه کاهش سطح هوشیاری خلبان جلوگیری کرده و از سوانح هوایی ناشی از آن در پرواز کاسته خواهد شد. چرا که مهمترین عامل در انجام یک پرواز ایمن، داشتن سطح هوشیاری بالاست.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از کلیه خلبانان شرکت کننده در این پژوهش کمال تشکر و سپاس خود را ابراز دارند. همچنین از مرکز فیزیولوژی هوایی و مرکز تحقیقات طب هوا - فضا دانشگاه علوم پزشکی آجا که امکانات این پژوهش را فراهم نمودند قدردانی می‌گردد.

است که طول می‌کشد اکسیژن وارد ریه‌ها شده و خون موجود در رگهای ریوی را اکسیژنه کند و پس عبور از قلب، جریان به نوک انگشتان وارد شده و توسط اکسی متر اندازه گیری شود [۱۶].

همچنین بر اساس مطابقت و همخوانی نتایج مطالعه ما با مستندات و مکتوبات علمی پذیرفته شده محققان طب هوا و فضا، می‌توان گفت که آگاهی به موقع خلبان از هیپوکسی خود با استفاده از فن‌آوری پالس اکسی متر از طریق اندازه‌گیری میزان اکسیژن خون شریانی می‌تواند کمک شایانی در تشخیص به موقع زمان اتصال اکسیژن در پرواز باشد.

تحلیل داده‌ها در مطالعه ما همچنین نشان داد که متوسط میزان اشباع اکسیژن در خلبانان حین تجربه هیپوکسی در اتاق ارتفاع، فارغ از سن، تجربه پروازی و نوع هواپیما حدود ۸۱٪ بود. از نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان در طراحی پالس اکسی مترهای مورد استفاده در هوانوردی، جهت تشخیص به موقع هیپوکسی و هشدار به موقع به خلبانان در طول پرواز کمک گرفت. به این صورت که با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و با در نظر گرفتن یک حاشیه ایمنی مطمئن، می‌توان مقدار درصد اشباع اکسیژن ۸۵٪ را به عنوان یک مبنای جهت تشخیص ابتلا به هیپوکسی در نظر گرفت، از این رو می‌توان پالس اکسی مترهایی طراحی کرد تا زمانی که اشباع اکسیژن خلبان موقع پرواز در محدوده ۸۹-۸۶٪ قرار گرفت، یک چراغ هشدار دهنده (مثلاً با رنگ زرد) را جهت هشدار اولیه به خلبان،

References

1. Dobie TG. Aeromedical handbook for aircrew. London: North Atlantic Treaty Organization, Advisory Group for Aerospace Research & Development; 1972.
2. Martin T. Aeromedical transportation: a clinical guide. 2nd ed. United Kingdom: Ashgate; 2006: p. 45-46.
3. Phillips JB, Horning DS, Dory RE. A comparison of pulse-oximetry, near-infrared spectroscopy (NIRS), and gas sensors for in-cockpit hypoxia detection: Naval Medical Research Unit– Dayton; 2012 Sep 27.
4. Severinghaus JW. Monitoring oxygenation. *Journal of clinical monitoring and computing*. 2011; 25(3):155–161.
5. Wagner JL, Ruskin KJ. Pulse oximetry: basic principles and applications in aerospace medicine. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2007; 78(10):973–978.
6. Tamura T, Maeda Y, Sekine M, Yoshida M. Wearable photoplethysmographic sensors—past and present. *Electronics*. 2014; 3:282–302.
7. Severinghaus JW, Honda Y. History of blood gas analysis. VII. Pulse oximetry. *Journal of clinical monitoring*. 1987; 3(2):135–138.
8. Guo T, Cao Z, Zhang Z, Li D, Yu M. Reflective oxygen saturation monitoring at hypothenar and its validation by human hypoxia experiment. *Biomedical engineering online*. 2015; 14:1–19.
9. Chan ED, Chan MM, Chan MM. Pulse oximetry: understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respiratory medicine*. 2013; 107(6):789–799.
10. Legg SJ, Gilbey A, Hill S, Raman A, Dubray A, Iremonger G, et al. Effects of mild hypoxia in aviation on mood and complex cognition. *Applied ergonomics*. 2016; 53 Pt B:357–363.
11. Knauff M, Wolf AG. Complex cognition: the science of human reasoning, problem-solving, and decision-making. *Cognitive processing*. 2010; 11(2):99–102.
12. Malle C, Quinette P, Laisney M, Bourrilhon C, Boissin J, Desgranges B, et al. Working memory impairment in pilots exposed to acute hypobaric hypoxia. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2013; 84(8):773–779.
13. Asmaro D, Mayall J, Ferguson S. Cognition at altitude: impairment in executive and memory processes under hypoxic conditions. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2013; 84(11):1159–1165.
14. Turner CE, Barker-Collo SL, Connell CJW, Gant N. Acute hypoxic gas breathing severely impairs cognition and task learning in humans. *Physiology & behavior*. 2015; 142:104–110.
15. Simmons RG, Chandler JF, Horning DS. Forehead-mounted reflectance oximetry for in-cockpit hypoxia early detection and warning. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2012; 83(11):1067–1076.
16. Blue B. Recommended use of pulse oximetry in aviation; 1999 [Accessed 2016 June 15]. Available from: URL:<http://www.avweb.com/news/aeromed/181896-1.html>.
17. Dillard TA, Bansal AK. Commentary: pulse oximetry during airline travel. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2007; 78(2):143–144.
18. Petrassi FA, Hodkinson PD, Walters PL, Gaydos SJ. Hypoxic hypoxia at moderate altitudes: review of the state of the science. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2012; 83(10):975–984.

Clinical role of pulse oximetry in early detection of hypoxia among pilots during flight

Eslami R¹, Emami K², *Takzare A³

Abstract

Background: A pilot's hypoxia which may lead to dysfunction in some vital and sensitive organs can be detected and its prevention may greatly reduce the rate of aviation accidents. Therefore, this study aimed to investigate the prevalence of hypoxia using a pulse oximeter among pilots in an altitude chamber (hypobaric chamber).

Materials and methods: In a cross-sectional study on 80 pilots referred to IR.AF aviation physiology center, the level of blood oxygen saturation (SpO₂) was measured before and during the experience of hypoxia in altitude chamber (25,000 feet). SPSS software was used for statistical analysis.

Results: The mean SpO₂ level during experience of hypoxia was about 81.5% and most of aviators experienced the symptoms of hypoxia in SpO₂ of 89-80%. In three cases (3.7%) symptoms occurred when SpO₂ level was in critical range (69-60%).

Conclusion: Our results showed that symptoms of hypoxia in some pilots occurred in very low levels of SpO₂ and this can lead to sudden loss of consciousness without any physiological notice. Pulse oximetry technology could be of great importance to pilots in early detection of hypoxia. Particularly aviation pulse oximeters may expressively prevent aviation accidents related to pilot's hypoxia by early detection and timely warning to pilots during in-flight hypoxia.

Keywords: Hypoxia, Aviation, Pulse Oximetry

1. Assistant professor, Aerospace Research Center, Aerospace and subaquatic medicine school, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2. MSc of aerospace engineering, Sattari Aerial University, Tehran, Iran

3. Assistant professor, Department of anesthesiology and intensive care, Medical school, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran (*Corresponding author)
drtakz@gmail.com