وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية / كلية العلوم
قسم الكيمياء

المعالجه الفوتوكيميائيه ودور احادي اوكسيد الكاربون الحيوي والسمي

بحث مقدم الى مجلس كلية العلوم وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في قسم الكيمياء

اعداد الطالب

كرار احمد كريم

بإشراف

الدكتور / حسن شمران محمد

١٤٣٩هـ **٢٠١٨م**

المقدمة

اطلق الأطباء على غاز اول اكسيد الكربون.. القاتل الصامت نظرا لخطورته الكبيرة وقدرته القاتلة على القضاء على مستخدميه فى لحظات فكثير من الناس خلال فترتي الربيع والشتاء من العام للخروج للنزهة والمبيت خارج البيت، وبسبب برودة الجو يلجأ البعض للتدفئة الطبيعية باستخدام الحطب والفحم وغيرهما أو للتدفئة التقليدية التي تستخدم مدافئ الكيروسين، وينام بعض الناس في السيارة والمحرك يعمل في أماكن سيئة التهوية. وينتج عما سبق غاز سام لا يدركه الكثير من الناس يعرف بأول أكسيد الكربون وقد تناقلت الصحف المحلية خبر اختناق ستة أشخاص في إحدى مناطق المملكة كانوا يستخدمون الفحم للتدفئة . التفاصيل سنعرفها فى التحقيق التالي..

ان غاز أول أكسيد الكربون ينتج عن الاحتراق غير الكامل للمواد الكربونية، كما قد ينتج في حال وجود خلل في المدفأة التي تستخدم المواد المشتعلة. ومشكلة هذا الغاز أنه لا لون له ولا طعم ولا رائحة؛ لذلك لا يدرك الشخص العادي وجوده، وعند استنشاقه يصل إلى الدم بصورة تدريجية ويرتبط بالهيموجلوبين الحامل للأوكسجين مما ينتج عنه إزاحة الأوكسجين من الهيموجلوبين. ومن المعلوم للقارئ أن الهيموجلوبين يحمل الأوكسجين من الرئتين إلى الأنسجة حتى تحصل على كفايتها من الأوكسجين العامل الأساسي في عملية حرق الطاقة. لذلك فإن أول أكسيد الكربون يقلل من كمية الأوكسجين المحمولة للأنسجة، كما أنه يمنع انتقال الأوكسجين المتبقي في الهيموجلوبين إلى الأنسجة التي تحتاج إليه. وينتج عما سبق نقص حاد في مستوى الأوكسجين في الأنسجة ويسبب أعراض التسمم التي سنتحدث عنها. وأول أكسيد الكربون له قابلية أعلى من الأوكسجين للارتباط بالهيموجلوبين بـ٢٠٠ مرة مما يسرّع من عملية الإزاحة والارتباط بالهيموجلوبين والتسمم. ولحسن الحظ أن عملية التسمم بطيئة إلى حد ما وتحتاج من ٨ إلى١٢ ساعة من التعرض للغاز حتى يتشبع الدم به. ولكن الأعراض قد تظهر قبل تشبع الدم، كما أن الوفاة قد تحدث قبل تشبع الدم كذلك. والتسمم بأول أكسيد الكربون من أسباب الوفاة التي يمكن منعها بسهولة في مثل هذه الأوقات من السنة في العالم كله بأخذ الاحتياطات اللازمة. وقد يحدث هذا للشخص وهو نائم ولا يشعر بذلك، لذلك وجب

أول أكسيد الكربون له قابلية أعلى من الأوكسجين للارتباط بالهيموجلوبين بـ٢٠٠ مرة مما يسرّع من عملية الإزاحة والارتباط بالهيموجلوبين والتسمم.

ولحسن الحظ أن عملية التسمم بطيئة إلى حد ما وتحتاج من ٨ إلى١٢ ساعة من التعرض للغاز حتى يتشبع الدم به.

أخذ الحيطة والتنبه لهذا القاتل الصامت. كما أن احتمال التسمم عند الأطفال أكثر من الكبار لأن معدل تنفسهم في الدقيقة أسرع من الكبار مما يزيد من سرعة وصول الغاز للدم ومن ثم التسمم. وقد يستيقظ الشخص بأعراض التسمم ولكن لا يعرف سببها. وهذه الأعراض تشمل الصداع، الضعف العام، التوتر، الغثيان، الخمول، الدوخة، نقص مستوى الوعي واضطراب دقات القلب. وتخف الأعراض عادة مع مضي وقت النهار؛ حيث يعود الأوكسجين تدريجيًا مع التهوية لأخذ مكانه الطبيعي في الهيموجلوبين. وإذا اشتكى أي شخص من الأعراض السابقة بعد النوم عند مدفأة تستخدم نظام الحرق والاشتعال فإن احتمال وجود تسمم بأول أكسيد الكربون يظل قائمًا. وفي دراسة سعودية قام بها الدكتور المعمري ومجموعة من زملائه من مستشفى الحرس الوطني ونشرت عام ٢٠٠٠ في المجلة الطبية السعودية، وجد الباحثون في الدراسة التي أجريت على عينة من الأشخاص الذين نُوّموا في المستشفى بسبب التسمم بهذا الغاز، أن سبب التسمم كان استخدام الفحم للتدفئة عند ٧١ في المئة من المصابين، وكان عادم السيارات السبب الثاني في التسمم بنسبة ٢١ في المئة من المصابين. كما أنه إضافة إلى الأعراض الحادة فإن التسمم قد يؤدي إلى مضاعفات طويلة المدى تصيب الجهاز العصبي المركزي للإنسان، وقد يضطر الأطباء إلى تنويم المريض في وحدة العناية المركزة واستخدام أجهزة التنفس الصناعي.

بسم الله الرحمن الرحيم

إنَّ في خلْقِ السَّمواتِ والأرضِ واختلافِ اللَّيلِ والنَّهارِ لآياتٍ لأولي الألباب الَّذين يَذْكُرونَ الله قياماً وقعوداً وعلى جُنوبهم ويتفَكَّرونَ في خلْقِ السَّمواتِ والأرضِ ربَّنا ما خلَقْت هذا باطلاً سبحانَك فَقِنَا عذابَ النَّار

صدق الله العظيم

(آل عمران ١٩١)

الشكر

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد ...

وقبل أن نمضي تقدم أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة ...

إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة ...

إلى جميع أساتذتنا الأفاضل.....

كن عالما .. فإن لم تستطع فكن متعلما ، فإن لم تستطع فأحب العلماء ،فإن لم تستطع فلا تبغضهم"

وأخص بالتقدير والشكر:

الدكتور : **حسن شمران**

الذي نقول له بشراك قول رسول الله صلى الله عليه وسلم:

"إن الحوت في البحر ، والطير في السماء ، ليصلون على معلم الناس الخير"

كما أنني أتوجه له بخاص الشكر لراعي الجغرافية ومربيها في جامعة حلب، إلى من علمنا التفاؤل والمضي إلى الأمام، إلى من رعانا وحافظ علينا، إلى من وقف إلى جانبنا عندما ضللنا الطريق.....

وكذلك نشكر كل من ساعد على إتمام هذا البحث وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة وزودنا بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا البحث

الذين كانوا عونا لنا في بحثنا هذا ونورا يضيء الظلمة التي كانت تقف أحيانا في طريقنا

إلى من زرعوا التفاؤل في دربنا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات والأفكار والمعلومات، ربما دون يشعروا بدورهم بذلك فلهم منا كل الشكر.

الاهـــداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله و المؤمنين)

صدق الله العظيم (التوبة ١٠٥)

الهـي لا يطيـب الليـل إلا بشـكرك و لا يطيـب النهـار إلا بطاعتـك و لا تطيـب اللحظات الا بذكرك ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك

"الله جل جلاله "

الـى مـن بلـغ الرسـالة وأدى الأمانـة ونصـح الأمـه الـى نبـي الرحمـة ونور العالمين

" سيدنا محمد صلى الله عليه وآله وسلم "

الـى مـن كللـه الله بالهيبـة و الوقـار الـى مـن علمنـي العطـاء دون انتظـار ارجو من الله ان يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها

" والدي العزيز "

الى من كان دعائها سر النجاح وحنانها بلسم الجراح

" امي العزيزة "

الـى مـن تحلـو بالاخـاء وتميـزوا بالوفـاء والعطـاء الـى مـن كـانوا معـي فـي طريـق النجاح والخير الى من عرفت كيف اجدهم وعلموني ان لا اضيعهم

" اصدقائي "

ماهو علاج ضوئي حركي

نوع من المُعالَجَة بالضَّوء، حيث يتم حقن المريض بمُركّب غير سامّ حسّاس للضوء مثل مُشْتَقَّات الهيماتوبورفرين، الذي يتركز بشكل إنتقائي في الأنسجة الورمية النشطة استقلابياً، ومن ثم تعريض تلك الأنسجة للضوء(الضَّوْء فَوْق البَنَفْسَجِيّ أو أشعة ليزر الحَمْراء)، ليُنتج المركب بعد ذلك جُذُور حُرّة سامّة للخَلاَيا المستهدفة الخبيثة والمريضة الأخرى ومن ثم تدميرها.

علاج حب الشباب بالضوء الأزرق

العلاج الضوئي والعلاج بالليزر باستخدام الحساس الضيائي لرفع فعالية القضاء على الخلايا السرطانية، وهي نوع من العلاج الغير جارح. وفي العام 1996م تم الموافقة عليه من قبل هيئة الأغذية والأدوية الأمريكية FDA للإستخدام السريري، وفي العام 2003م تم الموافقة عليه من هيئة الغذاء والداوء الصينية SFDA للإستخدام السريري.

يتم إعطاء حقنة الحساس الضيائي وريديا، حيث يتم امتصاصه بشكل كبير من الأنسجة السرطانية، أما الانسجة السرطانية الطبيعية فإمتصاصها نادر، ويتم تعريض الورم لضوء ليزري خاص ، تحت التأثير الضوئي فإن الحساس الضوئي داخل الخلايا السرطانية يحدث سمية وبالتالي يحصل تنخر للخلايا السرطانية، ويختفي الورم تدريجياً.

ثانياً: نموذج معالجة الورم

الجراحة ← العلاج الكيميائي ← العلاج الإشعاعي ← العلاج المناعي ← العلاج الضوئي

خمس مراحل متعارف عليها عالمياً لعلاج السرطان .

ثالثاً: عملية المعالجة

الخطوة الأولى: يتم إعطاء المريض حقنة الحساس الضيائي،وعادة يستخدم الفوتورين PHOTOFRIN®

الخطوة الثانية : ينتظر المريض حوالي 40-50 دقيقة بعد اخذ الحقنة.

الخطوة الثالثة: نقوم بالتسليط الليزري على البقعة السرطانية لقتل الخلايا السرطانية.

رابعاً: المميزات والفوائد

حد أدنى من الجراحة، لا يحتاج إلى عملية جراحية، لا يوجد فتحة والألم قليل

الفعالية سريعة في غضون 48 إلى 72 ساعة

يمنع حدوث وتكرار السرطان --- يقضي على البقع الصغيرة، ويل من تكرار الورم

مضاعفات أقل--- سمية منخفضة، يناسب الحالات المتأخرة والضعفاء المسنين.

خامسا: الإستخدامات والتطبيقات السريرية

سرطان الفم والبلعوم وسرطان الفم في وقت مبكر وسرطان الأنف والبلعوم بنسبة فعالية من 75% إلى 100%.

ا سرطان المريئ : تحسن بشكل فعال الإنسداد التدريجي للمريئ ، علاج فعال لسرطان المريئ في الرقبة، يعالج الإنتشار السرطاني تحت الغشاء المخاطي للمريئ، وكذلك يقضي على السرطان الذي ينمو داخل تجويف المريئ المدعم بالدعامات.

بالنسبة لمرض "مريء باريت "(حالة يمكن ان تؤدي الى سرطان المريء)، يقضي بشكل فعال على ظهارة باريت، وكذلك يعالج سرطان المريئ الغدي المبكر.

سرطان الرئة: بالنسبة لسرطان القصبة الهوائية، معدل الشفاء 90%، وبالنسبة للإنسداد التدريجي للقصبة الهوائية له فعالية تصل إلى 85%.

بالنسبة لسرطان المعدة: سرطان المعدة في وقت مبكر، ونسبة الشفاء هي 85%؛ فعالة في تحسين أعراض سرطان المعدة المتقدم.

سرطان المثانة: بشكل جذري" للسرطان في موضعه" وبالنسبة للسرطان المتفاقم تدريجيا نسبة الشفاء تصل إلى 71%.

ا سرطان أخرى: مثل سرطان القولون والمستقيم، وسرطان المرارة وكذلك يناسب سرطان المرارة في منطقة الوريد البابي ، وكذلك سرطان البنكرياس وسرطان البنكرياس الأمبولي، وأورام الظهارة المتوسطة للصدر والبطن وسرطان الكبد، وسرطان الدماغ، وسرطانات المسالك البولية والتناسلية.

علاج حب الشباب بالضوء الأزرق

حب الشباب هي واحدة من الظروف الجلد الأكثر شيوعا في قطر، مما يؤثر على أكثر من 85٪ من المراهقين التي كتبها سن من 24 سنوات، وما يصل الى 50٪ من البالغين أكثر من 25 عاما من العمر. حب الشباب هو شرط على نطاق واسع واغضاب. فإنه يمكن أن تنتج دائم على مدى الحياة تندب الجسدية والعاطفية.

لا حب الشباب هو نتيجة النظام الغذائي السيئ أو الأطعمة الدهنية. في واقع الأمر، حب الشباب يتطور عندما الغدد الزهمية في الجلد لشخص ما تنتج فائض المعروض النفطي؟ (الزهم). يجمع بين هذا النفط مع الخلايا التي تبطن الجدران الغدة والسدادات المسام الجلد. البكتيريا الجلد العادي استعمار هذه المسام ويسبب استجابة الجسم على التهاب أو احمرار من الجلد التي نحن المتنسبين مع حب الشباب.

كيف يمكن للالعمل العلاج OmniluxTM ضوء؟

واحدة من البكتيريا الرئيسية المسؤولة عن الالتهاب هو البروبيونية العدية أو P.acnes. هذه البكتيريا تنتج المواد الكيميائية طبيعية تسمى poryphyrins، والتي هي حساسة للضوء عند أطوال موجية مختلفة. إذا حفز، سوف هذه المواد الكيميائية تحييد البكتيريا ومع عدم وجود البكتيريا التهاب الحاضر سوف تهدأ.

Omnilux blueTM يحفز هذه المواد الكيميائية وهلم يقضي على البكتيريا التي تتسبب في احمرار او التهاب من حب الشباب. يتم الجمع بين هذا مع Omnilux reviveTM التي لديها خصائص مضادة التهابات، وهذا يساعد التقليل إلى أدنى حد على احمرار من الآفات حب الشباب ويعزز أكثر صحة الجلد.

العلاجات Omnilux هي تماما غير-الغازية وتوليد لا الحرارة. على العلاج لا تلحق الضرر الأنسجة الطبيعية والأشغال مع العمليات الطبيعية الخاصة في الجسم لتجديد شباب الجلد.

لماذا اختيار Omnilux العلاج بالضوء مزيج لعلاج حب الشباب؟

Omnilux هو أداة أساسية كجزء من برنامج إدارة حب الشباب. OmniluxTM يسلم ضوء نقية الأمثل لتسليم الطول الموجي الصحيح بالإضافة إلى إعطاء جرعات من أجل التنشيط أقصى قدر من من الخلايا المستهدفة.

مزيج العلاج بالضوء يعمل من خلال النشاط المضادة-البكتيرية والمضادة للالتهابات من Omnilux blueTM وOmnilux reviveTM تسليمها بالتناوب. فقط من خلال تقديم الطول الموجي الحق في تسلسل يمكن أن أن ينظر إليه النتائج المثلى.

التنشيط من كوبروبرفيرين III يخلق داخل الخلايا أحاديات الأكسجين – الذي يحفز الموت البكتيرية كاملة.

وهذا يقلل من للاستعمار الجرثومي للالغدة الزهمية، والعودة مستوى الغدة في عالية بشكل غير طبيعي من الزهم إلى وضعها الطبيعي بالإضافة إلى تقليص إنتاج من السيتوكينات proinflammatory.

في وقت واحد، Omnilux blueTM يستحث السيتوكينات المضادة للالتهابات، وحفز مسارات مناعة محددة.

تم توثيقه بشكل جيد خصوصية داخل الخلايا من العلاج الضوء الأحمر (Omnilux reviveTM) ومنذ فترة طويلة تم التدليل فإنه أن 633nm يقدم الحد من ممتازة في الآفات التهابات ويتم ثبت لتحفيز الآليات الخلوية للحصول على الإصلاح الأنسجة.

لقد أدت إمكانية وجود "حقبة ما بعد المضادات الحيوية" في القرن الحادي والعشرين ، والتي قد تقتل فيها العدوى الشائعة ، إلى إجراء أبحاث على مضادات الميكروبات الجديدة بشكل جذري. إن الجزيئات التي يتم إطلاقها CO ((CORMs ، ومعظمها مركبات الكربونيل المعدنية ، التي تم تطويرها أصلاً للتسليم CO العلاجي في الحيوانات ، هي عوامل فعالة مضادة للميكروبات. تمنع بعض CORM من النمو والتنفس ، وتقليل قابلية البقاء ، والإفراج عن أول أكسيد الكربون إلى hemes داخل الخلايا ، كما هو متوقع ، ولكن تصرفاتها أكثر تعقيدًا ، كما يتضح من مجموعات البيانات والنسق transcriptomic. يعيق التقدم بسبب الصعوبات في الكشف عن إطلاق ثاني أكسيد الكربون داخل الخلايا ، وفهم محدود للكيمياء البيولوجية لتفاعلات أول أكسيد الكربون مع أهداف غير هيم ، والتسمم الخلوي لبعض المواد العضوية إلى خلايا الثدييات.

ن البديهي أن الأيونات المعدنية ضرورية في علم الأحياء ، ولكنها أيضا سامة في تركيزات أو مواقع غير منظمة. والنتيجة الطبيعية هي أن مركبات المعادن السامة بشكل انتقائي (مثل مركبات الفضة للعدوى الناتجة عن الحروق والبزموت في مكافحة هيليكوباكتر بيلوري) استخدمت منذ فترة طويلة كمضادات للميكروبات ، ومطهرات ، ومطهرات (1). ومن ثم فمن المفارقة أن تكون مركبات الفلزات هي أكثر أنواع المركبات وفرة لتوصيل أول أكسيد الكربون (CO) للأغراض العلاجية في الكائنات الحية العليا. على الرغم من أن CO هو السم التنفسي ، إلا أنه قد "بلغ من العمر" منذ اكتشاف أن CO هو جزيء cytoprotective و homostatic و vasodilator ، المضادة للالتهابات ، ومكافحة apoptotic ، ومكافحة التكاثر وكيل (2 ، -4). والكيمياء البيولوجية للـ CO بسيطة نسبياً (عند مقارنتها بـ O2 و "NO "gasotransmitters و 6 ، 5) (H2S). وأهم خصائصه هو التفاعل مع المعادن ، وهي بروتينات الهيمو الحديدية المشهورة ، على الرغم من أن بعض التفاعلات المستقلة ذات الهيم معروفة ، مثل الارتباط بالحديد في الهيدروجيناز (7) وإلى مواقع النحاس النووي ، على سبيل المثال في الهيموسيانين (8). في ثاني أكسيد الكربون ، الذي يكسد ثاني أكسيد الكربون إلى CO2 ، يتفاعل أول أكسيد الكربون مع أيون النيكل في واحد من 9) ("C-cluster") metalloclusters). هنا نستعرض تأثيرات الجزيئات CO و 2 (CORMs) CO-release على الكائنات الدقيقة ، التجارب التي تدل على إمكانات CORMs ، وتسليط الضوء على المشاكل والتوقعات.

أول أكسيد الكربون غاز عديم اللون والرائحة وهو من أشد الغازات الملوثة للهواء سمية ، ويتميز بحوالي ٠,٠٣ جزء من المليون ، وتتأكسد كمية قليلة منه وتتحول إلى ثاني أكسيد الكربون ولكن هذه العملية قلية الأهمية . وتشير بعض الدراسات إلى أنه يشترك في بعض التفاعلات الكيموضوئية المكونة للضباب الدخاني .

ويتكون هذه الغاز نتيجة الاحتراق الغير كامل (الأكسدة غير الكاملة) للوقود المحتوي على الكربون ، خصوصاً في محركات السيارات ..

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO$$

وعلى الرغم من أن نسبة هذا الغاز تقل كثيراً عن نسبة ثاني أكسيد الكربون إلا أنه يتصف بسميته الشديدة ، ويعتبر من أخطر الغازات على صحة الإنسان والحيوان . إذ تبين الدراسات المتعددة إلى أن التراكيز المرتفعة من غاز أول أكسيد الكربون في الهواء تسبب تغيرات فسيولوجية ومرضية في جسم الإنسان يمكن أن ينتج عنها الموت ، ويؤثر هذا الغاز على جسم الإنسان والحيوانات في أنه يحرم أنسجة الجسم من الأكسجين وذلك باتحاده مع الهيموجلوبين Hemoglobin مكوناً الكاربوكسى هيموجلوبين (CO Hb) Carboxy hemoglobin الذي يتميز بعدم قدرته على الاتحاد مع الأكسجين . مما ينتج عنه نقص أكسجين الدم في البدء ومن ثم نقص أكسجين عام يؤثر على جميع الأجهزة المختلفة في الجسم . وعندما تزيد كميته قليلاً فقد يتسبب في انسداد الأوعية الدموية محدثاً الوفاة .. كذلك يتدخل هذا الغاز في عمل بعض الإنزيمات ويقلل من كفاءتها .

ومما يزيد الأمر سوءا أن الهيموجلوبين يتحد مع أول أكسيد الكربون أكثر مما يتحد بالأكسجين بحوالي ٢١٠ – ٢٥٠ تقريباً . وعند التوقف عن تنفس الهواء الملوث بأول أكسيد الكربون فإن أول أكسيد الكربون المرتبط بالهيموجلوبين يتحرر ويتخلص الجسم منه بمعدل نصف كميته كل ثلاث إلى أربع ساعات .

كما يؤثر تشكل كاربوكس هيموجلوبين (CO Hb) إضافة إلى نقص كمية الأكسجين التي يحملها الدم إلى أنسجة الجسم المختلفة ، في إعاقة تحرير الأكسجين الذي يحمله الهيموجلوبين غير المرتبط مع أول أكسيد الكربون . وينتج عن هذا نقص قدرة الهيموجلوبين على نقل الأكسجين إلى أجزاء الجسم المختلفة .

التركيز	التأثير
١	لا يلاحظ أي أثر .
١-٢	تغير في تصرفات الأشخاص .
٢-٥	تأثير في الجملة العصبية ، سوء في الشعور بالزمن ، نقص في الرؤية ، تأثيرت عصبية ونفسية وإرهاق .
أكثر من ٥	تأثيرات في القلب والجهاز التنفسي وآلام في الرأس وحاجه كبيرة إلى النوم .

جدول يوضح تأثير كاربوكسى هيموجلوبين في الدم(wark & warner ١٩٧٦م)

ويزداد تأثير غاز أول أكسيد الكربون إذ كان الأشخاص يعانون من أمراض في الجهاز التنفس أو أمراض فقر الدم . ويتحد أول أكسيد الكربون إضافة إلى ذلك مع الحديد في الخمائر التنفسية ويحوله إلى حديد غير فعال .

صيغة جزيئية	CO
الكتلة المولية	٢٨,٠١٠ g/mol
المظهر	colorless gas
الرائحة	odorless
الكثافة	٧٨٩ kg/m٣, liquid ١,٢٥٠ kg/m٣ at ٠ °C, ١ atm ١,١٤٥ kg/m٣ at ٢٥ °C, ١ atm
نقطة الانصهار	٢٠٥,٠٢ °س–، ٦٨ °ك، -٣٣٧ °ف
نقطة الغليان	١٩١,٥ °س–، ٨٢ °ك، -٣١٣ °ف
الذوبانية في الماء	٢٧,٦ mg/L (٢٥ °C)
الذوبانية	soluble inكلوروفورم,حمض الخليك ,أسيتات الإيثيل ,إيثانول ,هيدروكسيد الأمونيوم ,بنزين (مركب كيميائي(
قه	١,٠٤ atm-m٣/mol
قرينة الانكسار(nD)	١,٠٠٠٣٣٦٤
عزم جزيئي ثنائي القطب	٠,١٢٢ديباي
كيمياء حرارية	
الحرارة القياسية للتكوينΔfHo٢٩٨	−١١٠,٥ kJ·mol−١
تغير الإنتالبي القياسي للاحتراقΔcHo٢٩٨	−٢٨٣,٤ kJ/mol
إنتروبية مولية قياسيةSo٢٩٨	١٩٧,٧ J·mol−١·K−١
الحرارة النوعية،C	٢٩,١ J/K mol

أول أكسيد الكربون

هو غاز عديم اللون، وعديم النكهة (الطعم)، وعديم الرائحة. ينتج من عمليّة الأكسدة الجزئيّة (الاحتراق غير التام للكربون (والمركبات العضوية مثل الفحم، وهذا يحدث عند ندرة الأكسيجين، أو عند احتراق ذي حرارة مرتفعة جدًّا. يعتبر من الغازات الشديدة السمية وهو من صور الكربون وأيضا بعض الزيوت والشحوم من الآلات والمركبات. وهو من الجزيئات ثنائية الذرة غير المتجانسة وذلك لأنه يحتوي علي عنصرين مختلفين هما الكربون والأوكسجين .هذا الغاز يمكن أن يحترق أيضًا، فتُستكمل عمليّة احتراقه التي كانت أصلًا -كما ذكرنا- غير تامّة، ويُصدر نارًا زرقاء.

يمكن إنتاجه في المختبرات أيضًا عن طريق تفكيك حمض النمل HCOOH أي الحمض الفورمي، وينتج أيضًا الماء. لهذا الغاز أهميّة صناعيّة، فليس بالضرورة دائما غازًا خبيثًا.

يجدر الانتباه إلى أنّ أمزجة أوّل أوكسيد الكربون مع الهواء + CO) هواء) هي عبارة عن غاز قابل للانفجار بشدّة.

ترجع سمّيته لكونه يتحد مع هيموجلوبين الدم في الرئتين عند استنشاقه مكونًا كاربوكسي هيموجلوبين، مانعًا بذلك نقل الأوكسجين إلى الأنسجة والخلايا (يربط مع الهيموغلوبين برابط ثابت) وذلك كون إمكانيّة التصاق جزيء الـ CO بالهيموغلوبين (Hb) هي أكثر بحوالي ٣٠٠ ضعف من إمكانيّة التصاق جزيء الأوكسيجين بالهيموغلوبين (إمكانيّة الالتصاق هذه تسمّى بالإنكليزيّة Affinity). وعند التعرض له تظهر على الجسم بعض الأعراض كتغير لون الجلد والأغشية المخاطية إلى الأحمر والعديد من الأعراض الأخرى. يمكن علاج التسمم بأول أكسيد الكربون عن طريق التعريض الكافي للأوكسيجين الصافي لفترة طويلة، والأهمّ من ذلك الكفّ من التعرض لمصدر الغاز السامّCO ، أو نقل كريات دم حمراء إن اضطرّ الأمر. وللحفاظ على السلامة يجب التخلص من هذا الغاز عن طريق تهوئة أماكن تواجده، كما هنالك الكثير من المعالجات الكيميائية التي تفي بالغرض.

أولاً ينبغي التعرف على أعراض التسمم بغاز أحادي أكسيد الكربون حتى يمكن تقديم الإسعافات الأولية للمصاب. يتحد الدم مع غاز أول أكسيد الكربون بشكل قوى جداً يفوق بنسبة مائتي (٢٠٠) مرة عن اتحاده بالأكسجين، وهذا يعنى أن الشخص

الذي يتعرض للتسمم يتشبع جسده بكم كبير من أول أكسيد الكربون والكم الأقل يكون للأكسجين اللازم لوظائف الأعضاء الحيوية من المخ والقلب. والعلاج الوحيد للتسمم هو إحلال الأكسجين في دم المصاب مكان غاز أول أكسيد الكربون، ولابد وأن يتنفس تركيزات عالية من الأكسجين لفترة طويلة من الزمن لمعادلة تأثير التسمم وذلك بوضعه في حجرة بها ضغط عالٍ من الأكسجين بنسبة ١٠٠%. ولتجنب التسمم بمثل هذا الغاز، لابد وأن تكون المنازل مزودة بأجهزة كاشفة لانبعاث غاز أول أكسيد الكربون.

مصادر غاز أول أكسيد الكربون]

من الممكن أن يتسرب هذا الغاز، من أياً من المصادر التالية: - المواقد التي تعمل بالغاز. - مجففات الملابس التي تعمل بالغاز. - سخانات المياه التي تعمل بالغاز. - الأفران الخشبية. - الشوايات التي تعمل بالغاز أو بالفحم. - المولدات التي تعمل بالغاز أو بالديزل. - القوارب التي تعمل بمحرك. - الدراجات البخارية (الموتوسيكلات). - أجهزة المسطحات الخضراء التي تعمل بالغاز. - المدفأة التي تعمل بالغاز أو الزيت. - بعض أنواع السجائر. - السيارات

أعراض التسمم بأول أكسيد الكربون أعراض التسمم بغاز أول أكسيد الكربون تتشابه إلى حد كبير مع الأعراض التي تؤثر على الجهاز العصبي المركزي. من الهام الوضع في الاعتبار حالة التسمم بغاز أول أكسيد الكربون عندما تكون إحدى المصادر السابقة متواجدة حول الشخص المصاب، وسوف تظهر عليه العلامات التالية: - صداع. - ارتباك وتشوش ذهني. - ضيق في التنفس. - ضعف. - إرهاق. - الإحساس بالدوار. - عدم الثبات في الحركة أثناء المشي. - غثيان وقيء. - فقدان الوعي.

-لون الجلد مع حالة التسمم بغاز أول أكسيد الكربون: بخلاف الحالات التي يحدث فيها نقص الأكسجين في الدم، فإن المصاب بالتسمم من هذا الغاز تقريباً لا يتحول لون جلده إلى اللون الأزرق أو يصبح شاحباً. وقد يتحول الجلد في الحالات الحادة إلى اللون الوردي الفاتح أو الأحمر – لكن هذا لا يحدث في كل حالات التسمم.

إسعاف من تعرض للتسمم بغاز أول أكسيد الكربون

إذا تعرض شخص للتسمم بغاز أول أكسيد الكربون فيجب تقديم الإسعافات الأولية التالية: - إبعاد الشخص عن المكان الذي يوجد به غاز أول أكسيد الكربون على الفور، من أجل استنشاقه الهواء النقي وإيقاف التعرض للغاز المسبب للتسمم

وبالتالى زيادة الحالة سوءًا. - الاتصال الفوري بسيارة الإسعاف لنقل المصاب إلى أقرب مستشفى، لأن التسمم بغاز أول أكسيد الكربون يحتاج إلى تدعيم التنفس بأجهزة الأكسجين. - إتباع أساسيات الإسعافات الأولية حتى وصول سيارة الإسعاف. - البحث عن المصدر الذي ينبعث منه غاز أول أكسيد الكربون وإغلاقه على الفور.

التسمم بأحادي أكسيد الكربون أو التسمم بأول أكسيد الكربون ، هو حالة تسمم تحدث عند استنشاق غاز أحادي أكسيد الكربون .(CO) تكمن الخطورة أن غاز أحادي أكسيد الكربون غاز عديم اللون والرائحة، مما يصعب من مهمة التحقق من وجوده. يتشكل أحادي أكسيد الكربون من الاحتراق غير الكامل للمواد العضوية نتيجة عدم توفر كميات كافية من الأكسجين لتسمح بحدوث احتراق كامل والتحول إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون.CO_2

تتمثل الأعراض الخفيفة لحالات التسمم بأحادي أكسيد الكربون بالصداع والدوار، في حين أن حالات التعرض الشديدة تؤدي إلى ضيق النفس وخلل في وظائف الجهاز العصبي المركزي والقلب، مما يؤدي إلى الموت.

يمكن أن تعالج الإصابة بحالة التسمم بأحادي أكسيد الكربون عن طريق معالجة بالأكسجين عالي الضغط، على الرغم من أن أسلوب العلاج المذكور لا يزال موضعاً للجدل .

علامات وأعراض التسمم بغاز أول أكسيد الكربون

أول أكسيد الكربون ليس ساما لجميع أشكال الحياة. آثاره الضارة قد تكون بسبب ارتباطها مع الهيموغلوبين لذلك خطرها على الكائنات التي لا تستخدم هذا المركب أمر مشكوك فيه. وبالتالي فإنه ليس هناك تأثير على نباتات التمثيل الضوئي . فالغاز يمتص بسهولة من خلال الرئتين. استنشاق الغاز يمكن أن يؤدي إلى الإصابة بنقص الأوكسجين، وتلف الجهاز العصبي، والوفاة. مختلف الناس والسكان قد تختلف لديهم مدى قدرة تحمل مختلف مستويات أول أكسيد الكربون. وفي المتوسط، التعرض إلى ١٠٠ جزء في المليون أو أكبر يشكل خطرا على صحة الإنسان. في الولايات المتحدة OSHA تحد من مستويات التعرض للغاز في مكان العمل على المدى الطويل إلى أقل من متوسط ٥٠ جزء بالمليون في الدقيقة على مدى ٨ ساعات. بالإضافة إلى ذلك قام الموظفون بإزالته من أي مكان ضيق إذا تم التوصل إلى الحد الأعلى ("الحد الأقصى") من ١٠٠ جزء في المليون والتعرض لأول أكسيد الكربون يؤدي إلى العيش لفترة قصيرة بسبب تلف القلب. وتتغير مدى قدرة تحمل

أي شخص لغاز أول أكسيد الكربون عن طريق عدة عوامل، بما في ذلك مستوى النشاط، ومعدل التهوية، أو إذا كان الشخص يعاني من مرض في الدماغ أو القلب أوالأوعية الدموية، أو النتاج القلبي أوفقر الدم ومرض الأنيميا المنجلية واضطرابات الدم الأخرى، أو الضغط الجوي، ومعدل الأيض. وفيما يلي الآثار الحادة التي ينتجها أول أكسيد الكربون بحسب تركيز الغاز في المحيط في أجزاء لكل مليون:

الأعراض	التركيز
الصداع والدوخة في غضون ستة إلى ثماني ساعات من التعرض المستمر.	٣٥جزء في المليون (٠,٠٠٣٥٪)
صداع خفيف في ٠٢:٥٨ ساعات.	١٠٠جزء في المليون (٠,٠١٪)
صداع خفيف خلال ٢-٣ ساعات وفقدان الحكم.	٢٠٠جزء في المليون (٠,٠٢٪)
صداع في الجزء الأمامي خلال ١-٢ ساعات.	٤٠٠جزء في المليون (٠,٠٤٪)
الدوخة، والغثيان، والتشنجات خلال ٤٥ دقيقة. وفقدان الوعي في غضون ساعتين.	٨٠٠جزء في المليون (٠,٠٨٪)
الصداع، وزيادة معدل نبضات القلب، والدوخة، والغثيان في غضون ٢٠ دقيقة. والوفاة في أقل من ٢ ساعة.	١٦٠٠جزء في المليون (٠,١٦٪)
الصداع، والدوخة والغثيان في ٩:٥٥ دقيقة. الوفاة في غضون ٣٠ دقيقة.	٣٢٠٠جزء في المليون (٠,٣٢٪)
الصداع والدوخة في ١:٥٩ دقيقة. التشنجات، وتوقف التنفس والوفاة في أقل من ٢٠ دقيقة.	٦٤٠٠جزء في المليون (٠,٦٤٪)
فقدان الوعي بعد التنفس مرتين إلى ثلاث مرات . والوفاة في أقل من ثلاث دقائق.	١٢٨٠٠جزء في المليون (١,٢٨٪)

التسمم الحاد

تتطور المظاهر الرئيسية للتسمم بأول أكسيد الكربون في نظم الجهاز الأكثر اعتمادا على استخدام الأكسجين، والجهاز العصبي المركزي والقلب. وتشمل الأعراض الأولية للتسمم الحاد بأول أكسيد الكربون : الصداع، والغثيان، والشعور بالضيق، والتعب. هذه الأعراض غالبا ما تكون خاطئة فقد تكون أعراضا لفيروس مثل الانفلونزا أو غيرها من الأمراض مثل التسمم الغذائي أو التهاب المعدة والأمعاء والصداع هو أكثر الأعراض شيوعا للتسمم الحاد بأول أكسيد الكربون؛ وغالبا ما يوصف بأنه مضجر ، ويكون بالجزء الأمامي من الرأس ، ومستمر. وزيادة التعرض تنتج شذوذ في القلب بما في ذلك سرعة نبضات القلب، انخفاض ضغط الدم، وعدم انتظام نبضات القلب. وتشمل الأعراض الجهاز العصبي المركزي والهذيان، والهلوسة، والدوخة، ومشي غير منتظم ، والتوتر، والنوبات المرضية، وانخساف الجهاز العصبي المركزي ، وفقدان الوعي، وتوقف التنفس والوفاة. وتشمل الأعراض الأقل شيوعا للتسمم الحاد بأول أكسيد الكربون نقص تروية عضلة القلب، الرجفان الأذيني، والالتهاب الرئوي، وذمة رئوية، وارتفاع نسبة السكر في الدم، الحماض اللبني، نخر العضلات، والفشل الكلوي الحاد، جروح جلدية، ومشاكل بصرية وسمعية. وفيما يلي أحد أهم المظاهر العصبية التي قد تحدث متأخرًا عند الإصابة بالتسمم الحاد بأول أكسيد الكربون : وقد تتضمن المشكلات صعوبة في الوظائف الفكرية العليا، فقدان الذاكرة على المدى القصير، والخرف ، والجنون، وفقدان الذاكرة، واضطراب عقلي والتهيج المفرط ، والمشية الغريبة ، واضطرابات في الكلام، وداء باركنسون مثل المتلازمات والعمى القشري ، والمزاج المكتئب. وقد يحدث الاكتئاب متأخرا للأشخاص الذين ليس لديهم إكتئاب في تاريخهم المرضي . وهذا التأخير قد يحدث في عقابيل عصبية في ما يصل إلى ٥٠٪ من المصابين بالتسمم بعد ٢- ٤٠ يوم . ومن الصعب توقع تطور هذا التأخير ؛ ومع ذلك، التقدم بالسن، وفقدان الوعي أثناء التسمم ، والتشوهات العصبية الأولية قد تزيد من فرصة تفاقم وتأخر الأعراض . ومن أحد العلامات التي تظهر لدى المصابين بالتسمم قد تظهر في الأشخاص الموتى أكثر من الأشخاص الذين على قيد الحياة - وقد وصف الناس هذه العلامة بأنها تجعل لون الخدين أحمر بشكل صحي (انظر أدناه). ومع ذلك، إن هذا المظهر الذي يجعل الخدين تشبه لون "الكرز الأحمر" هو شائع فقط في الأشخاص الموتى ، وغير معتاد لدى االأشخاص الذين على قيد الحياة،ولا يعتبر ذلك علامة تشخيصية مفيدة في الطب السريري. أما في فحص التشريح فإن المظهر يكون متورد اللون بشكل واضح نتيجة التسمم بأول أكسيد الكربون لأن جثث الموتى عادة ما تكون مزرقة وشاحبة، في حين أن

الأشخاص الذين توفوا بسبب التسمم بأول أكسيد الكربون قديكون لونهم نابض بالحياة على نحو غير عادي. وهذا اللون في حالات التشريح قد يكون مماثل للون الأحمر الذي يُستخدم في صناعة منتجات الألبان واللحوم التجارية.

التسمم المزمن]

التعرض المزمن لمستويات منخفضة نسبيا من غاز أول أكسيد الكربون قد يسبب الصداع المستمر ، والدوار، والاكتئاب، والتوتر، وفقدان الذاكرة، والغثيان والقيء. إذا أنه لا يعرف ما إذا كان التعرض المزمن لمستوى منخفض قد يسبب تلف عصبي دائم. وعادة تكون أعراض التعرض لغاز أول أكسيد الكربون تحل نفسها بنفسها، ما لم يكن هناك حادثة من التسمم الحاد. ومع ذلك لوحظ بأن إحدى الحالات قد تكون أعراضها فقدان دائم للذاكرة ومشاكل في التعلم بعد التعرض إلى مستويات منخفضة نسبيا من غاز أول أكسيد الكربون نتيجة الاستخدام الخاطئ للفرن . والتعرض المزمن لغاز أول أكسيد الكربون قد تتفاقم أعراض القلب والأوعية الدموية لدى بعض الناس. والتعرض المزمن لغاز أول أكسيد الكربون قد يزيد من خطر الإصابة بتصلب الشرايين. وقد يكون غاز أول أكسيد الكربون يمثل أعظم خطر على الأشخاص المصابين بأمراض القلب التاجية وعند الإناث الحوامل.
الأسباب:

المصدر	التركيز
مستوى الغلاف الجوي الطبيعي (موبيت(	٠,١جزء في المليون
متوسط المستوى في البيوت	٠، ٥-٥جزء في المليون
القرب من مواقد الغاز المعدلة بشكل صحيح في المنازل	١٥-٥جزء في المليون
عادم السيارات في المنطقة الوسطى في مدينة مكسيكو	٢٠٠-١٠٠جزء في المليون
العادم من حريق خشب المنزل	٥٠٠٠جزء في المليون
عوادم السيارات الدافئ دون محول حفاز	٧،٠٠٠جزء في المليون
غاز سام ناتج بعد انفجار منجم للفحم	٣٠٠٠٠جزء في المليون

أول أكسيد الكربون ناتج عن احتراق المواد العضوية في ظل ظروف مقيدة بإمدادات الاوكسجين، والذي يمنع الأكسدة الكاملة لثاني أكسيد الكربون .(CO٢) وتشمل مصادر أول أكسيد الكربون دخان السجائر وحرائق المنازل، الأفران والسخانات ومواقد الحطب، الاحتراق الداخلي لعوادم السيارات ، والمولدات الكهربائية، ومعدات تغذيه البروبان مثل المواقد المحمولة، والأدوات التي تعمل بالبنزين مثل ماكينات جز العشب، الضغط العالي للغسالات ، منشار قطع الخرسانة، قوة مالج، واللحام. يحدث التعرض عادة عند استخدام المعدات في المباني أو المساحات شبه مغلقة. قد يحدث التسمم أيضًا بعد الاكتفاء من استخدام جهاز التنفس تحت الماء ويحدث ذلك بسبب خلل ضواغط هواء الغوص. ركوب العربات قد يؤدي إلى التسمم عند الأطفال. سير السيارات وأنبوب العادم مسدود بسبب الثلوج يؤدي إلى تسمم ركاب السيارة. مولدات ومحركات الدفع في الزوارق، وخصوصا المراكب، قد يؤدي إلى الوفاة نتيجة التعرض لغاز أول أكسيد الكربون . وهناك مصدر آخر من التسمم هو التعرض لثنائي كلورو ميثان المذيبات العضوية، وجدت في بعض الطلاء المتجرد ، وعملية التمثيل الغذائي للثنائي كلورو ميثان ينتج أول أكسيد الكربون. فأي ثقب بين العادم والغطاء يمكن أن يؤدي إلى غازات تصل إلى المقصورة. وفي الكهوف يمكن لأول أكسيد الكربون أن يتراكم في الفجوات المغلقة بسبب وجود المواد العضوية المتحللة. الفيزيولوجيا المرضيّة : تشتمل الآليات الدقيقة التي تسبب آثار غاز أول أكسيد الكربون على أنظمة جسدية معقدة وغير مفهومة تماما. وتشمل الآليات المعروفة أول أكسيد الكربون مرتبطة بالهيموجلوبين ، والميوجلوبين الميتوكوندريا السيتوكروم أوكسيديز وتقييد امدادات الاوكسجين، وأول أكسيد الكربون يسبب دهون بيروكسيد في الدماغ . الهيموغلوبين : أول أكسيد الكربون لديها معامل إنتشار أعلى بالمقارنة مع الأكسجين ويكون الإنزيم الوحيد في جسم الإنسان الذي ينتج أول أكسيد الكربون هو أوكسيجيناز الهيم الذي يقع في جميع الخلايا ويتحول إلى الهيم.وفي حالات تكون مستويات أول أكسيد الكربون دون العادية في البلازما ما يقارب ٠ mmHg لأنه يحتوي على معامل انتشار عالي والجسم بسهولة يتخلص من أي أول أكسيد كربون . وعندما لا يتم تهوية أول أكسيد كربون وذلك بربطه بالهيموغلوبين، وهو الأكسجين الرئيسي الذي يحمل المركب في الدم. وهذا ينتج مركب يعرف باسم كربوكسي هيموغلوبين. الاعتقاد التقليدي هو أن تسمية أول أكسيد الكربون تنشأ من تشكيل كربوكسي هيموغلوبين، مما يقلل من القدرة على حمل الأكسجين من الدم ويمنع النقل والإستقبال والاستفادة من الأوكسجين في الجسم. والقرابة بين الهيموجلوبين وأول أكسيد الكربون هو ما يقارب ٢٣٠ مرة أقوى من القرابة بين

الهيموغلوبين والأوكسجين بحيث أن الهيموغلوبين يقوم بربط أول أكسيد الكربون بشكل أفضل للأوكسجين. الهيموجلوبين هو الذي يربط أربع جوانب للأكسجين .وربط أول أكسيد الكربون لأحد تلك الجوانب يزيد من تقارب الأكسجين من الجوانب الثلاثة المتبقية، ويسبب جزيء الهيموجلوبين في الاحتفاظ بالأكسجين ونقله إلى الأنسجة. ويرد وصف هذه الحالة بأن أول أكسيد الكربون يحول منحنى الأكسجين إلى اليسار. ونظرا لزيادة التقارب بين الهيموجلوبين والأكسجين أثناء التسمم تقل نسبة الأكسجين المتدفق في الأنسجة وهذا يسبب نقص أكسجين الأنسجة. يكتسب الهيموغلوبين اللون الأحمر الفاتح عندما يتحول إلى كربوكسي هيموغلوبين،لذا فإن الجثث المتسممة وحتى اللحوم التجارية تتعامل مع أول أكسيد الكربون الذي يكتسب لون أحمر غير طبيعي.

الميوجلوبين

يتحد أول أكسيد الكربون أيضًا مع هيموبروتين الميوجلوبين ولديه قرابة عالية بالميوجلوبين، وهو أكبر من الأكسجين حوالي ٦٠ مرة . وأول أكسيد الكربون مرتبط بالميوجلوبين وقد تضعف قدرته للإستفادة من الأوكسجين. وهذا يسبب انخفاض النتاج القلبي وانخفاض ضغط الدم، مما قد يؤدي إلى نقص تروية الدماغ وقد أعلن عن تأخر عودة هذه الأعراض. وهذه النتائج تتبع تكرار زيادة مستويات كربوكسي هيموغلوبين، وقد يكون هذا التأخير نتيجة تأخر ظهور أول أكسيد الكربون من الميوجلوبين الذي يرتبط بالهيموجلوبين . أكْسيدازُ السِّيتُوكرُوم : وتشمل آلية أخرى على تأثيرات الميتوكوندريا في سلسلة انزيمات الجهاز التنفسي المسؤولة عن استخدام فعالية الأنسجة للإستفادة من الأوكسجين.يرتبط أول أكسيد الكربون بالسيتوكروم أوكسيديز مع تقارب أقل من الأكسجين، ولذلك فمن الممكن أنه يتطلب نقص الأكسجين داخل الخلايا قبل الإرتباط . وهذا يتداخل مع الإستقلاب الهوائي وكفاءة توليفات ثلاثي فسفات الأدينوزين. فالخلايا تستجيب عن طريق التحول إلى عملية التمثيل الغذائي اللاهوائي، مما يتسبب ذلك في نقص الأكسجين، الحماض اللبني، وموت الخلايا. ومعدل التفكك بين أول أكسيد الكربون والسيتوكروم أوكسيديز بطيء، مما يتسبب في الانخفاض لفترة طويلة نسبيا من عملية الأيض المؤكسدة.

آثار الجهاز العصبي المركزي]

الآلية التي يعتقد أن لها تأثير كبير على تأخير الآثار تتضمن تشكيل خلايا الدم والوسائط الكيميائية التي تسبب بيروكسيد الدهون في الدماغ (تدهور الأحماض الدهنية غير المشبعة). يسبب أول أكسيد الكربون إطلاق الخلايا البطانية والصفائح الدموية من أكسيد النيتريك، وتشكيل الجذور الحرة للأكسجين بما في ذلك بيروكسينتريت. ويؤدي هذا الخلل مزيد من الميتوكوندريا، تسرب الشعرية، وعزل الكريات البيض، وموت الخلايا المبرمج في الدماغ. ونتيجة لهذه الآثار هو بيروكسيد الدهون، والذي يسبب إزالة الميالين عكسها تأخر المادة البيضاء في الجهاز العصبي المركزي المعروف باسم الاعتلال النخاعي ، والذي يمكن أن يؤدي إلى وذمة ونخر في الدماغ. ويحدث هذا التلف في الدماغ بشكل رئيسي خلال فترة النقاهة.

وهذا قد يؤدي إلى العجز المعرفي، خصوصا التي تؤثر على الذاكرة والتعلم، واضطرابات الحركة. وعادة ما ترتبط هذه الاضطرابات بتلف في المادة البيضاء الدماغية والعقد القاعدية. التغيرات المرضية السمة المميزة التالية التسمم هي نخر الثنائي من المادة البيضاء، الكرة الشاحبة، المخيخ، الحصين والقشرة المخية.

قد يسبب التسمم بأول أكسيد الكربون لدى النساء الحوامل تأثيرات شديدة السلبيةعلى الجنين. ويسبب التسمم نقص الأكسجة الأنسجة الجنين عن طريق خفض إطلاق الأكسجين من الأمهات إلى الجنين. ويعبر أول أكسيد الكربون المشيمة أيضًاً ويتحد مع هيموجلوبين الجنين، مما يسبب نقص لأكسجة الأنسجة الجنينية. بالإضافة إلى ذلك، يمتلك هيموجلوبين الجنين مايقارب ١٠-١٥٪ من أول أكسيد الكربون وذلك أعلى من هيموجلوبين البالغين، مما يسبب تسمم حاد للجنين أكثر من البالغين. القضاء على أول أكسيد الكربون أبطأ لدى الجنين، مما يؤدي إلى تراكم هذه المادة الكيميائية السامة. مستوى المرض والوفيات لدى الجنين في حالة التسمم الحاد بأول أكسيد الكربون هو كبير، وذلك على الرغم من التسمم المتوسط أو بعد التعافي لدى االأمهات، ولكن تسمم الجنين الشديد أو الموت مازال يحدث. التشخيص تحدث عن العديد من التسمم بأول أكسيد الكربون الأعراض أيضًا مع العديد من أنواع أخرى من حالات التسمم والعدوى (مثل الأنفلونزا)، والتشخيص غالبا ما يكون صعبا. والتاريخ المحتمل للتعرض لأول أكسيد الكربون مثل: التعرض لحريق في السكن، قد يوحي بالتسمم ولكن يتم تأكيد التشخيص من خلال قياس مستويات أول أكسيد الكربون في الدم. ويمكن تحديد هذا من خلال قياس كمية كربوكسي هيموجلوبين بالمقارنة مع كمية الهيموجلوبين في الدم.

كالناس الذين مازالو يعانون من أعراض التسمم بثاني أكسيد الكربون فترة طويلة بعد أن عاد تركيز كربوكسي هيموجلوبين الدم لديهم إلى وضعه الطبيعي، ونقدموا للفحص مع مستوى كربوكسي هيموجلوبين طبيعي (الذي قد يحدث في الحالات المتأخرة من التسمم) لا يستبعد التسمم.

ويستخدم مقياس التأكسج بأول أكسيد الكربون لتحديد مستويات كربوكسي هيموجلوبين. ونبض مقياس التأكسج بأول أكسيد الكربون يقدر كربوكسي هيموجلوبين مع مقطع الاصبع غير الغازي شبيه بمقياس تأكسج النبض. وتعمل هذه الأجهزة عن طريق تمرير موجات مختلفة من الضوء من خلال الإصبع وقياس امتصاص الضوء من أنواع مختلفة من الهيموجلوبين في الشعيرات الدموية. واستخدام مقياس نبض التأكسج المنتظم ليس فعّالاً في تشخيص التسمم بأول أكسيد الكربون كالناس الذين يعانون من التسمم بأول أكسيد الكربون قد يكون لديهم مستوى طبيعي من الأكسجين على مقياس نبض التأكسج . ويرجع ذلك إلى أن كربوكسي هيموجلوبين التي حرفت إلى الأوكسي هيموجلوبين. مراقبة التنفس بأول أكسيد الكربون يعد بديلا صالحا لمقياس نبض التأكسج بأول أكسيد الكربون. وأظهرت مستويات كربوكسي هيموجلوبين أن هناك ارتباط قوي مع تركيز التنفس بأول أكسيد الكربون. ومع ذلك، فإن العديد من هذه الأجهزة تتطلب من المستخدم أن يستنشق بعمق ويحبسون أنفاسهم للسماح بأول أكسيد الكربون في الدم بالتسرب إلى الرئة قبل أن تتم عملية القياس. كما أن ذلك ليس ممكنا لدى المريض غير المستجيب، وهذه الأجهزة ليست مناسبة للاستخدام في حال الكشف على حالات الطوارئ من التسمم بأول أكسيد الكربون.

الكشف في العينات البيولوجية]

ويمكن عدّ كمية أول أكسيد الكربون في الدم باستخدام طرق طيفية أو تقنيات كروماتوغرافية من أجل تأكيد تشخيص التسمم لدى الشخص أو للمساعدة في تحقيقات الطب الشرعي في الحالات المعرضة للقتل. وتشبع الدم بكربوكسي هيموجلوبين قد يصل مداه إلى ٨-١٠٪ لدى المدخنين الشرهين أو الأشخاص المعرضين على نطاق واسع لغازات عوادم السيارات. في المصابين بأعراض التسمم غالبا ما تكون نسبة الهيموجلوبين في حدود ١٠-٣٠٪، في حين أن الأشخاص الذين ماتوا تكون مستويات الهيموجلوبين بعد الوفاة في الدم بمعدل٣٠-٩٠٪. ونسبة كربوكسي هيموجلوبين لجزيئات الهيموجلوبين في الشخص العادي قد تصل إلى ٥٪، وذلك على الرغم من مدخني السجائر الذين يدخنون علبتين في اليوم قد تصل مستوياته إلى ٩٪.

التشخيص التفريقي

هناك العديد من الحالات التي يتعين النظر فيها عند التشخيص التفريقي للتسمم بأول أكسيد الكربون. فالأعراض المبدئية وخاصة تلك التي تحدث جراء التعرض بمستوى منخفض غالبا ما تكون غير محددة ويمكن الخلط بينها وبين أمراض أخرى والمتلازمات الفيروسية والاكتئاب ومتلازمة التعب المزمن وآلام في الصدر والصداع النصفي أو أنواع الصداع الأخرى. وقد دُعيَ أول أكسيد الكربون "المُقلد الكبير" وذلك بسبب ظهور التسمم بشكل متنوع وغير محدد. والحالات الأخرى في التشخيص التفريقي تشمل متلازمة الضائقة التنفسية الحادة، وإرتفاع المرض، والحماض اللبني، والحماض الكيتوني السكري، والتهاب السحايا، ميتهيموجلوبينية الدم، أو الأفيونية أو التسمم بالكحول السامة. الوقاية

الكشف

وتظل الوقاية قضية من قضايا الصحة العامة الحيوية، والتي تتطلب التعليم العام على التشغيل الآمن للأجهزة والسخانات والمواقد، ومحركات الاحتراق الداخلي، بالإضافة إلى زيادة التركيز على تركيب أجهزة الكشف عن أول أكسيد الكربون. وأول أكسيد الكربون عديم الطعم والرائحة لذا لايمكن كشفة بحاسة الشمّ. وذكرت لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية في الولايات المتحدة الأمريكية، "الكشف عن أول أكسيد الكربون لا يقل أهمية عن كاشفات الدخان لسلامة المنزل "، كما أوصت بأن يكون لكل منزل واحد كاشف عن أول أكسيد الكربون، ويفضل أن يكون كاشف واحد لكل مستوى في المبنى. وتعد هذه الأجهزةو غير مكلفة نسبيا ومتوفرة بشكل واسع، وهي تعمل إما باستخدام البطارية أو بطاقة التيار المتردد ومع أو بدون بطارية احتياطية. وعادة ما يُثبت الكاشف عن أول أكسيد الكربون في المباني حول السخانات وغيرها من المعدات. إذا أُكْتُشِفَ مستوى عال نسبيا من غاز أول أكسيد الكربون، فسيصدر الجهاز إنذار من أجل إعطاء الناس فرصة لإخلاء وتهوية المبنى. وعلى عكس كاشفات الدخان، فإن الكاشفات عن أول أكسيد الكربون لاتحتاج إلى أن تُوضع بالقرب من مستوى السقف. استخدام أجهزة الكشف عن أول أكسيد الكربون كانت موحدة في العديد من المناطق. ففي الولايات المتحدة الأمريكية(٢٧٠-٢٠٠٩) نشرت الرابطة الوطنية للحماية من الحرائق إرشادات لأجهزة الكشف عن أول أكسيد الكربون والتي تنص على وضع أجهزة الكشف عن أول أكسيد الكربون وأجهزة الإنذار على كل مستوى من مستويات المسكن، بما في ذلك القبو بالإضافة إلى مناطق النوم الخارجية. أما في المنازل جديدة،فيجب أن يكون جهاز الكشف يعمل بطاقة التيار المتردد ويوجد به بطارية احتياطية وأن تكون

مترابطة لضمان الإنذار المبكر للسكان على جميع المستويات. تعد الرابطة الوطنية للحماية من الحرائق٧٢٠-٢٠٠٩ أول مركز وطني لأول أكسيد الكربون لمعالجة الأجهزة في المباني غير السكنية. هذه الإرشادات التي تتعلق الآن بالمدارس ومراكز الرعاية الصحية ودور الرعاية والمباني غير السكنية الأخرى، وتشمل ثلاث نقاط رئيسية:

يجب أن تشغل امدادات الطاقة الثانوية (بطارية احتياطية) جميع الأجهزة الإخطار بأول أكسيد الكربون لمدة ١٢ ساعة على الأقل،

يجب أن يكون جهاز الكشف على سقف الغرفة نفسها مع تثبيته بشكل دائم كأجهزة حرق الوقود.

يجب أن يكون جهاز الكشف موجوداً في كل مستويات السكن وفي كل منطقة يوجد بها أنظمة (التدفئة والتهوية والتكييف) في المبنى.

وغالباً ماتوصي منظمات الغاز بالحصول على خدمة أجهزة الغاز مرة واحدة على الأقل في السنة.

المتطلبات القانوني

وليس بالضرورة أن تُفرض معايير الرابطة الوطنية للحماية من الحرائق بالقانون. واعتبارا من أبريل ٢٠٠٦، في الولايات المتحدة الأمريكية ولاية ماساشوستس تتطلب أن يكون جهاز الكشف موجوداً في جميع المساكن المحتملة أن يكون فيها مصادر لأول أكسيد الكربون وذلك بغض النظر عن عمر المبنى وإذا ماكان مملوكاً أو مستأجراً. ويفرض مفتشي البلدية هذه المعايير والتي كانت مستوحاة من وفاة نيكول غاروفالو البالغ من العمر ٧ سنوات في عام ٢٠٠٥ بسبب الثلوج التي تسد فتحة التدفئة المنزلية. وقد لاتتطلب الولايات الأخرى أي معايير أو أنها توصي بوجود جهاز الكشف في المباني الجديدة أو في وقت عرضها للبيع. وعللى الرغم من وجود حالات وفاة مشابهة في السيارات مع انسداد أنابيب العادم (على سبيل المثال: أثناء عاصفة ثلجية (نورستر) شمال شرق الولايات المتحدة لعام ١٩٧٨ وفبراير ٢٠١٣) والتوافر التجاري للمعدات فلا يوجدمتطلب قانوني للجهاز الكشف عن أول أكسيد الكربون في السيارات.

حدُددت الارشادات التالية (القيم جزء في المليون تقريباً) وفترات متوسط التعرض المرجحة في مثل هذه الطريقة أن مستوى (COHb) كربوكسي هيموجلوبين من ٢,٥٪ غير متجاوز حتى وإن تدخل تابع طبيعي كالضوء أو التمارين المعتدلة:

١٠٠ملغ / متر مكعب (٨٧ جزء في المليون) لمدة ١٥ دقيقة

٦٠ملغ / متر مكعب(٥٢ جزء في المليون) لمدة ٣٠ دقيقة

٣٠ملغ / متر مكعب(٢٦ جزء في المليون) لمدة ١ ساعة

٣٠ملغ / متر مكعب(٢٦ جزء في المليون) لمدة ١ ساعة

للحصول على جودة الهواء في الأماكن المغلقة ٧ ملغ / متر مكعب (٦ جزء في المليون) لمدة ٢٤ ساعة (حتى لا تتجاوز ٢٪ من كربوكسي هيموجلوبين عن التعرض المزمن.(

العلاج

العلاج الأولي للتسمم بأول أكسيد الكربون هو نقل الشخص المتعرض على الفور دون تعريض المزيد من الناس. أولئك الذين فقدوا الوعي قد يتطلب إسعافهم بالإنعاش القلبي الرئوي في الموقع. إدارة الأكسجين عبر قناع إعادة التنفس يقصر عمر النصف من أول أكسيد الكربون من ٣٢٠ دقيقة إلى ٨٠ دقيقة على الهواء العادي. يعجّل الأكسجين تفكك أول أكسيد الكربون من كربوكسي هيموجلوبين، وبالتالي إعادته إلى هيموجلوبين. تُعامل النساء الحوامل مع الأكسجين لفترات أطول من الوقت بعكس الناس والنساء غير الحوامل وذلك بسبب التأثيرات الشديدة محتملة على الجنين.

الضغط العالي للأكسجين

ويُستخدم الأكسجين عالي الضغط أيضًاً في علاج التسمم بأول أكسيد الكربون، كما قد يعجل تفكك أول أكسيد الكربون من كربوكسي هيموجلوبين والسيتوكروم أوكسيديز إلى حد أكبر من الأكسجين العادي. ويقلل الأكسجين عالي الضغط بثلاث مرات لضغط الجوي من نصف عمر أول أكسيد الكربون إلى ٢٣ (~ ٣/٨٠ دقيقة) دقيقة، مقارنة مع ٨٠ دقيقة للأكسجين المنتظم. كما قد يعزز نقل الأكسجين إلى الأنسجة وذلك بإستخدام البلازما جزئيا وذلك بيتمرير النقل العادي من خلال الهيموجلوبين. ومع ذلك، فمن المثير للجدل ما إذا كان الأكسجين عالي الضغط يقدم أي فوائد إضافية على الأكسجين طبيعي الضغط، من حيث زيادة البقاء على قيد

الحياة أو تحسين النتائج طويلة الأجل وقد أجريت تجارب عشوائية تمت فيها مقارنة نوعي العلاج الاثنين؛.وهي ست تجارب؛أربعة منها وجدت أن للأكسجين عالي الضغط فوائد بينما أثنين منها لم تجد له أي فائدة. وقد انتقد البعض هذه التجارب لعيوب واضحة في تنفيذها. وخلص استعراض لجميع ما كتب حول علاج التسمم بأول أكسيد الكربون أن دور الأكسجين عالي الضغط غير واضح والأدلة المتوفرة لا تؤكد ولا تنفي فائدة مجدية طبيا منه. واقترح المؤلفون أن يكون هناك تجارب كبيره، ومصممة تصميماً جيداً، ومدقق عليها خارجيا، ومن عدة مراكز لمقارنة الأكسجين العادي مع الأكسجين عالي الضغط.

وقد يتطلب مزيداً من العلاجات للمضاعفات أخرى مثل الحجز، وانخفاض ضغط الدم، والتشوهات القلبية، والذمة الرئوية،والحماض. وينبغي علاج زيادة نشاط العضلات والحجز بدواء دانترولين أو الديازيبام. وينبغي إعطاء الديازيبام فقط مع الدعم التنفسي المناسب ويتطلب علاج انخفاض ضغط الدم الحقن بالسوائل الوريدية.. قد تكون هناك حاجة لاستخدام قابضات الأوعية لعلاج انخفاض عضلة القلب. وتُعالج اللانظميات القلبية بمعيار بروتوكولات دعم الحياة القلبية المتقدمة أما اذا كان حاد يُعالج الحماض الأيضي ببيكربونات الصوديوم. يعد العلاج ببيكربونات الصوديوم مثيرا للجدل كما أن الحماض قد يزيد توافر أنسجة الأكسجين. قد يحتاج علاج الحماض أن يكون مكوناً من العلاج بالأوكسجين. يعد تأخر تطور الضعف العصبي النفسي واحد من أكثر المضاعفات الخطيرة من التسمم بأول أكسيد الكربون.يتم تأكيد تلف الدماغ بأشعة MRI أو .CAT وغالبا مايتطلب المتابعة الواسعة والعلاج بالدعم في حالة التلف العصبي المتأخر. وغالباً مايصعب التنبؤ في حالات التسمم نتائج ، وخصوصا الناس الذين لديهم أعراض السكتة القلبية، والغيبوبة، والحماض الأيضي، أو لديهم مستويات عالية من كربوكسي هيموجلوبين. وذكرت إحدى الدراسات أن حوالي ٣٠٪ من المصابين بالتسمم الشديد من أكسيد الكربون سيكون له نتائج قاتلة. وقد أفيد أن العلاج الكهربائي (ECT) قد يزيد من احتمال عقابيل العصبية المتأخر (DNS) بعد التسمم بأول أكسيد الكربون.(CO)

المصادر /

١. "Carbon monoxide". Immediately Dangerous to Life and Health Concentrations (IDLH). National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH).

٢. **Jump up**^ Richard, Pohanish (٢٠١٢). Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens (٢ ed.). Elsevier. p. ٥٧٢. ISBN ٩٧٨-١-٤٣٧٧-٧٨٦٩-٤. Retrieved ٥ September ٢٠١٥.

٣. **Jump up**^ "NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards #٠١٠٥". National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

٤. **Jump up**^ http://cameochemicals.noaa.gov/chemical/٣٣٥

٥. **Jump up**^ "Molecular orbitals in Carbon Monoxide CO". University of Liverpool. Retrieved May ١٠, ٢٠١٦.

٦. **Jump up**^ Penney, David G. (٢٠٠٠) Carbon Monoxide Toxicity, CRC Press, p. ٥, ISBN ٠-٨٤٩٣-٢٠٦٥-٨.

٧. **Jump up**^ Cruickshank, W. (١٨٠١) "Some observations on different hydrocarbonates and combinations of carbone with oxygen, etc. in reply to some of Dr. Priestley's late objections to the new system of chemistry," Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts [a.k.a. Nicholson's Journal], ١st series, **٥** : ١–٩.

٨. **Jump up**^ Cruickshank, W. (١٨٠١) "Some additional observations on hydrocarbonates, and the gaseous oxide of carbon," Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts, ١st series, **٥** : ٢٠١–٢١١.

٩. **Jump up**^ Waring, Rosemary H.; Steventon, Glyn B.; Mitchell, Steve C. (٢٠٠٧). Molecules of death. Imperial College Press. p. ٣٨. ISBN ١-٨٦٠٩٤-٨١٤-٦.

١٠. **Jump up**^ Kitchen, Martin (٢٠٠٦). A history of modern Germany, ١٨٠٠–٢٠٠٠. Wiley-Blackwell. p. ٣٢٣. ISBN ١-٤٠٥١-٠٠٤١-٩.

١١. **Jump up**^ Thompson, Mike. Carbon Monoxide – Molecule of the Month, Winchester College, UK.

١٢. **Jump up**^ Ayres, Robert U.; Ayres, Edward H. (٢٠٠٩). Crossing the Energy Divide: Moving from Fossil Fuel Dependence to a Clean-Energy Future. Wharton School Publishing. p. ٣٦. ISBN ٠-١٣-٧٠١٥٤٤-٥.

١٣. **Jump up**^ Kinetic studies of propane oxidation on Mo and V based mixed oxide catalysts(PDF). ٢٠١١.

١٤. **Jump up**^ "Multifunctionality of Crystalline MoV(TeNb) M١ Oxide Catalysts in Selective Oxidation of Propane and Benzyl Alcohol". ACS Catalysis. ٣ (٦): ١١٠٣–١١١٣. ٢٦ April ٢٠١٣.

١٥. **Jump up**^ "The reaction network in propane oxidation over phase-pure MoVTeNb M١ oxide catalysts" (PDF). Journal of Catalysis. ٣١١: ٣٦٩–٣٨٥. March ٢٠١٤.

١٦. **Jump up**^ "Surface chemistry of phase-pure M١ MoVTeNb oxide during operation in selective oxidation of propane to acrylic acid" (PDF). Journal of Catalysis. ٢٨٥ (١): ٤٨–٦٠. January ٢٠١٢.

١٧. **Jump up**^ Weinstock, B.; Niki, H. (١٩٧٢). "Carbon Monoxide Balance in Nature". Science. ١٧٦ (٤٠٣٢): ٢٩٠–٢. Bibcode:١٩٧٢Sci...١٧٦..٢٩٠W. doi:١٠,١١٢٦/science.١٧٦,٤٠٣٢,٢٩٠. PMID ٥٠١٩٧٨١.

١٨. ^ Jump up to:**a b** Verma, A; Hirsch, D.; Glatt, C.; Ronnett, G.; Snyder, S. (١٩٩٣). "Carbon monoxide: A putative neural messenger". Science. ٢٥٩ (٥٠٩٣): ٣٨١–٤. Bibcode:١٩٩٣Sci...٢٥٩..٣٨١V. doi:١٠,١١٢٦/science.٧٦٧٨٣٥٢. PMID ٧٦٧٨٣٥٢.

١٩. ^ Jump up to:[a b c] Kolata, Gina (January ٢٦, ١٩٩٣). "Carbon Monoxide Gas Is Used by Brain Cells As a Neurotransmitter". The New York Times. Retrieved May ٢, ٢٠١٠.

٢٠. ^ Jump up to:[a b] Li, L; Hsu, A; Moore, PK (٢٠٠٩). "Actions and interactions of nitric oxide, carbon monoxide and hydrogen sulphide in the cardiovascular system and in inflammation—a tale of three gases!". Pharmacology & Therapeutics. ١٢٣ (٣): ٣٨٦–٤٠٠. doi:١٠,١٠١٦/j.pharmthera.٢٠٠٩,٠٥,٠٠٥. PMID ١٩٤٨ ٦٩١٢.

٢١. ^ Jump up to:[a b] Johnson, Carolyn Y. (October ١٦, ٢٠٠٩). "Poison gas may carry a medical benefit". The Boston Globe. Retrieved October ١٦, ٢٠٠٩.

٢٢. **Jump up**^ Gilliam, O. R.; Johnson, C. M.; Gordy, W. (١٩٥٠). "Microwave Spectroscopy in the Region from Two to Three Millimeters". Physical Review. ٧٨ (٢): ١٤٠–١٤٤. Bibcode:١٩٥٠PhRv...٧٨..١٤٠G. doi:١٠,١١٠٣/PhysRev.٧٨,١٤٠.

٢٣. **Jump up**^ Haynes, William M. (٢٠١٠). Handbook of Chemistry and Physics (٩١ ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press. p. ٩–٣٣. ISBN ٩٧٨-١٤٣٩٨٢٠٧٧٣.

٢٤. **Jump up**^ Haynes, William M. (٢٠١٠). Handbook of Chemistry and Physics (٩١ ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press. p. ٩–٣٩. ISBN ٩٧٨-١٤٣٩٨٢٠٧٧٣.

٢٥. **Jump up**^ Common Bond Energies (D) and Bond Lengths (r). wiredchemist.com

٢٦. **Jump up**^ Vidal, C. R. (٢٨ June ١٩٩٧). "Highly Excited Triplet States of Carbon Monoxide". Archived from the original on ٢٠٠٦-٠٨-٢٨. Retrieved August ١٦, ٢٠١٢.

٢٧. **Jump up**^ Scuseria, Gustavo E.; Miller, Michael D.; Jensen, Frank; Geertsen, Jan (١٩٩١). "The dipole moment of carbon monoxide". J. Chem. Phys. ٩٤ (١٠): ٦٦٦٠. Bibcode:١٩٩١JChPh..٩٤,٦٦٦٠S. doi:١٠,١٠٦٣/١,٤٦٠٢٩٣.

٢٨. **Jump up**^ Lupinetti, Anthony J.; Fau, Stefan; Frenking, Gernot; Strauss, Steven H. (١٩٩٧). "Theoretical Analysis of the Bonding between CO and Positively Charged Atoms". J. Phys. Chem. A. ١٠١ (٤٩): ٩٥٥١–٩٥٥٩. doi:١٠,١٠٢١/jp٩٧٢٦٥٧l.

٢٩. **Jump up**^ Blanco, Fernando; Alkorta, Ibon; Solimannejad, Mohammad; Elguero, Jose (٢٠٠٩). "Theoretical Study of the ١:١ Complexes between Carbon Monoxide and Hypohalous Acids". J. Phys. Chem. A. ١١٣ (١٣): ٣٢٣٧–٣٢٤٤. doi:١٠,١٠٢١/jp٨١٠٤٦٢h. PMID ١٩٢٧٥١٣٧.

٣٠. **Jump up**^ Meerts, W; De Leeuw, F.H.; Dymanus, A. (١ June ١٩٧٧). "Electric and magnetic properties of carbon monoxide by molecular-beam electric-resonance spectroscopy". Chemical Physics. ٢٢ (٢): ٣١٩–٣٢٤. Bibcode:١٩٧٧CP.....٢٢..٣١٩M. doi:١٠,١٠١٦/٠٣٠١-٠١٠٤(٧٧)٨٧٠١٦-X.