

ラジウム含有夜光塗料塗布作業における顎骨壊死

Necrosis of the jaw in workers employed in applying a luminous paint containing radium

Castle WB, Drinker KR, Drinkaer CK.* *J Indust Hyg* 7:371-82,1925

本稿に記す本研究は、関連する会社の社長の求めに応じて、同社の工場とハーバード大学公衆衛生学部で行なわれたものである。ここに記録した内容は、会社の幹部、従業員の全面的な協力なしには為しえなかったものであり、徹底的な調査への協力に感謝するものである。その結果の公表は、医学界をして非常に興味深い新たな問題に直面させることになる。

顎骨壊死症例の要約

本調査は、2例の顎骨壊死症例に関する1924年3月12日付けの手紙を受け取ったことに端を発するものである。うち1例は死亡例で、もう1例はおそらく回復過程にある生存例であった。

2回の工場訪問中に、慎重な聞き取りと調査を行ない、夜光塗料塗布作業従事者の顎骨に発生する以下の様な慢性疾患を見いだした。

症例1. A嬢。雇用期間4年4か月、1922年退職。顎骨壊死を発症、その後死亡。

症例2. B嬢。雇用期間約2年7か月、1921年退職。抜歯後、急速に進行する顎骨壊死が出現、8～9回掻爬したが改善せず。これが原因で死亡。

症例3. C嬢。雇用期間1917～20年。1923年12月抜歯後、急速に真擦る顎骨壊死が出現、左上顎の大部分を切除、2回の輸血を要した。1924年後半、抜歯約1年後、慢性敗血症で死亡。

症例4. D嬢。雇用期間6年半、1923年退職。退職の3年前から体調不良。高度の易疲労感、衰弱、顔色不良。体調悪化するも勤務を継続。1923年10月、上顎および下顎の大白歯を抜歯。そのうち1本とともに腐骨片が現われた。その後退職したが、通常顎骨治癒機転をとらず、排膿が始まり持続した。その後離れた位置にある他の2本の歯も罹患、抜歯。1924年5月の診察では、下顎の病変に加えて上顎に新たな瘻孔を生じ、X線検査で上顎洞との交通が認められた。容貌は失われ、体重減少が著しく、顔色不良であった。血液検査では高度貧血が認められた。顔面骨の疼痛を訴え、口腔内の悪臭ある膿排出による障害が強く、1日の多くを臥床していた。最近になってやや改善したとのことであったが、他覚所見、新たな感染巣の出現とは合致しないものであった。この診察時点で、かなり重篤な状態にあった。

1924年5月7日、X線写真で右上顎の壊死、上顎洞の高度不透過が認められ、明らかな鼻腔への進展傾向があった。壊死は、全歯牙欠損に至るほどではなかったが、上顎洞の病変が頭蓋に向けて上方に進展し、髄膜炎のおそれがあった。

症例5. E嬢。1919年退職。1923年、左下顎大白歯を抜歯。正常に治癒したに見えた。6か月後、抜歯部に瘻孔が出現、大量の排膿が数ヶ月持続した。1924年3月入院時のX線写真では抜歯部の顎骨に慢性感染の所見あり。5日後、改善なく、リン中毒による顎骨髄炎の診断のもとに退院。1924年5月、十分回復したとの報あり。

以上、5例の顎骨壊死例であるが、抜歯後に見られる通常の感染とは全く異なる。自然に、あるいはドレナージによって治癒する限局性病変ではなく、慢性、進行性の腐骨性病変で、通常の感染症あるいは骨結核とは本質的に異なり、リン中毒による顎骨壊死に非常に良く似ている。この顎骨の異常な状態がこれらの従業員に同時多発していることから、業務による何らかの骨病変に関連するものと考えられる。

可能性のある毒性物質の分析

当該工場の一般的な衛生状態は非常に良好であり、発光物質に含まれる特殊成分の分析が適切と思われた。

夜光塗料の基剤にリンは含まれていないが、発光硫化亜鉛には微量の銅と少量の臭化ラジウムが含まれ、臭化ラジウムはおそらく硫酸ラジウムに変化するものと思われた。臭化ラジウムは、硫化亜鉛と均一に混合されている。基剤はさまざま、塗料は細い筆で塗布される。

文字盤塗布作業から聴き取ったところ、我々の調査の6か月前までは、筆先を口で整えるのが一般的な方法であったということで、筆あるいは基剤が問題の原因である可能性を考えた。筆の培養からは *bacillus subtilis*, *staphylococcus albus*, およびグラム陰性非糖発酵性菌が検出されたが、いずれも無害な空中浮遊性菌で口腔内に正常に存在するものであった。夜光物質の通常基剤はアカシアゴムで、もちろん経口的には全く無害である。ついで、発光物質粉末自体の成分を検討した。

亜鉛

亜鉛は、最近の専門家の見解ではいずれも無毒である[1,2]。いわゆる「有毒」作用は、水溶塩の局所刺激効

* Department of Physiology, Harvard School of Public Health, Boston, Mass (ハーバード大学公衆衛生学部生理学教室)

果によるものである。硫化亜鉛は不溶性塩で、いかなる毒性の原因ともならない。この塩がただちに吸収されるとは考えにくく、比較的少量が吸収されたとしても毒性をもつことは考えにくい。我々はニュージャージー亜鉛社 (New Jersey Zinc Company) の工程で、このことをあらためて証明する機会を得た。同社では、その製造工程において従業員が大量の粉末状の硫化亜鉛に曝露しており、吸引、嚥下し、また皮膚にも付着する。これらの従業員は長年にわたって観察されているが、その局所作用による呼吸器、皮膚、消化器の障害は認められておらず、特に硫化亜鉛の大量曝露による顎骨壊死の例もない。

本件で使用されている硫化亜鉛は、これと全く同一ではない。光感受性を持たせるために「焙焼」(roasting)により分子状態が変化している。また、一般的な無機試薬の非発光性硫化亜鉛に比べて不溶性が高いことも分かっている。しかしこれは、可能性のある(本調査では全く認められていない)局所効果を減ずる方向に作用するもので、生体においてはさらに難溶性になると考えられる。さらにかりに溶解して生体に吸収されたとしても、その化学的形態が変化し、おそらく塩化物あるいは最終的にはリン酸化物となり、通常吸収される硫化亜鉛と同一の形態になると思われる。このような可溶性の変化が起これば、生体内の可溶性亜鉛の存在は、当該工場におけるものの何倍もの曝露であっても、ニュージャージー亜鉛会社の従業員の良好な健康状態や亜鉛中毒に関する多くの一般的経験から判断して無害と思われる。

銅

塗料中の微量な銅の存在が毒性物質となることは、ほとんど考えられない。

ラジウム

ラジウムが動物、ヒトに及ぼす影響については、豊富な文献がある。ラジウム機器製造工場の従業員、ラジウムを使用する医療従事者におけるラジウムの過剰被曝に重要な症状は、男性生殖器、女性生殖器の障害、皮膚変化、血液変化である。このような変化は、ラジウムの外部被曝者に発生するもので、ラジウム元素そのものを吸収した場合ではない。

女性の月経異常、男性の不妊は良く知られている。Mottram[3,4], Gudzent & Halberstaedter[5], Williams[6], Pfahler[7]その他によると、ラジウム過剰被曝後の血液機能障害については多くの証拠がある。これには、白血球の変化、リンパ球、多形核球の減

少、比率の変化などが知られている。赤血球も影響されることがあり、骨髓の血球産生機能に異常をみた例もある。少なくとも5例^{*1}の、X線あるいはラジウム過剰被曝に関連する造血臓器異常による死亡例が報告されている[7^{*2},8]。白血球の変化は、他の障害と合併せず、健康状態も良好な場合があるが、ラジウム取扱者において正常からのわずかな変異でも過剰被曝を示唆するものであるとする見解が多くなっている。この指標は既にロンドンラジウム協会 (London Radium Institute) で基本とされているもので、血液塗抹標本が休暇の必要性や防護強化の判断に使用されている。

さまざまな形のラジウムの体内分布や残留時間については多くのデータがあるが、しばしば矛盾したものである。しかし信頼できる報告から明らかなことは、エマネーションを例外として、ラジウムの可溶性塩、不溶性塩はいずれもいったん体内に入るとかなりの期間にわたって、特に不溶性塩を静注した場合には1年以上体内にとどまることである[9,10,11]。

ラジウムの骨への影響に関連する事実は、他の研究者による報告がある。ラジウム取扱者が過剰被曝によって顎骨壊死を来した例については文献を見出せなかった。しかし実験的に、 γ 線より透過力は弱いX線によって、正常骨形成の遅延によって骨折の治癒が遅延あるいは阻害されるという[12]。X線被曝は骨成長も遅延する[13]。 γ 線自体も、舌癌の治療で局所的に使用すると、我々の症例に似た顎骨壊死が正常顎骨に発生する[14]。4例の顎骨照射例のうち1例では、抜歯後に初めて壊死が発生している点でも本件に類似している。ラジウム、カルシウム、バリウム、ストロンチウムは化学的性質が似ていることから、吸収されたラジウムは最終的な作用点として骨に好んで集積する。ストロンチウムは、石灰化骨基質の基本的物質であるカルシウムを置換して骨に沈着することが知られており[15,16]、可溶性、不溶性ラジウムの静注あるいは筋注後に体内に残存したラジウムの相当量が骨格系に沈着しても驚くべきことではない[17,18]。筆者は夜光塗料をネコに気管内投与したところ、ラジウムが骨皮質に沈着した。ラジウムはいったん骨に沈着すると、その場所で特異的な障害を来す。まず、透過性の弱い放射線は吸収されて、強い局所障害を来す。次いで、より透過性の強い γ 線は、大部分が吸収されやすいカルシウム原子に特徴的な二次線となる。骨内のラジウムの影響は、著しく大量の放射線が骨に吸収されるため、同量の骨外あるいは軟部組織内のラジウムにくらべて数千倍にも及ぶ。体外からの α 粒子、大部分の β 線、 γ 線は、骨からの距離が遠く、また軟部組織に吸収されることから、骨には全く影響しない。

発光物質に唯一の有害物質を求めるとすれば、ラジウムである。たとえ少量であっても、ラジウムが細胞に及ぼす重大な影響は、言うまでもなく良く知られて

*1 本稿執筆後、ラジウム被曝後の悪性貧血による死亡例がいくつか報告されている。Weil, Lacassagne. Pernicious anemia from radium. Bull Soc méd d. hôp, 49:535,1925., J Am Med Assoc 84:1786,1925

*2 この5例についてはここに記載されている。

いる。さらに、ラジウムが選択的に骨に集積すること、ラジウムが放出する放射線のが骨成長、骨折治癒を阻害することを示す実験的証拠には事欠かない。我々が問題としている従業員にみられる顎骨の壊死が、舌癌の治療目的のラジウム使用に際して4例で報告されている。

工場の状況

塗装に従事する少女達は、広いよく照明された部屋にいる。夜光塗料に混ぜて使う粉末は、必要に応じて非常に少量ずつ(1~2g)小さな容器に入れて配布されており、一見して物質が拡散する可能性は非常に小さいように思われた。しかし、多くの作業者の衣服や体は、暗やみで光を当てると発光すると言われていた。

この「発光試験」と暗室での検査により、作業室の空気には硫化亜鉛が含まれていることを示すことができた。作業室のさまざまな場所(テーブル、シャンデリア、梁など)から集めた試料、作業者が使用していない椅子は、いずれも暗室で発光した。文字盤作業者の髪、顔、手、腕、首、上衣、下着、そしてコルセットまでもが発光した。作業者の一人には、下腿、大腿にも発光箇所がみられた。別の作業者の背部はほとんど腰まで発光した。塗装室の階下にある工作室の粉塵も発光し、事務員や塗装室以外の少女たちも同様であった。これは粉末化された基剤が浮遊して塗装室の周辺、さらにその範囲外まで運ばれたものと考えられた。塗装室でわずか数時間着用した衣服に暗室で光をあてると発光したことから、付着率をある程度定量的に知ることができた。最近油をひいたさまざまな場所から集めた粉塵の試料は発光し、その後ボストンで試験したところ微量のラジウムが含まれていた。この痕跡的ラジウムは、いかに微量とはいえ確実に存在するものである。

光を当てた後の発光が暗室で次第に消失する現象は、硫化亜鉛の一過性反応が、ラジウムによる硫化亜鉛の持続的発光に比してはるかに強いことを単に示すものである。例えば、作業者の皮膚の発光は、光を当てなければ見えないほど少量の塗料によるものであると考えられる。強く洗った後に皮膚に残存する夜光色素の量と、時計の文字盤に厚く塗られた塗料は比較にならない。発光が一過性であっても、皮膚にラジウムが無いことにはならず、単に自然発光するほどの量のラジウムがないことを意味するだけである。自然発光しない粉塵試料についても同様のことが言える。

歯科用X線フィルムを利用して、工場内の大まかなγ線量の測定を試みた。Pfahler[7]は、封印した歯科用フィルムが2週間以内に感光する場合は、ラジウムあるいはX線の過剰被曝があるとしている。工場内の倉庫、電話交換室、事務所などすべての場所において、1~2週間で軽度ではあるが確実に感光した。塗装室のフィルムは2~3日で明らかな感光があり、計量室の端が最も高度であった。

ラジウムが個人に及ぼす影響を調べるため、従業員の一般健康状態、工場内の個人衛生状態を調査した。抽出群の歯と血液も検査した。工場内各所から抽出した22名のうち、14名はラジウムあるいは夜光塗料に長期あるいは高度に曝露していると考えられ、8名は軽度の曝露と考えられた。13名は塗装に従事するか、あるいは塗装作業員と同室で勤務していた。ほぼ全員が、健康状態は良好と自己申告していた。勤務の一般状況は良好で、体の発光があるものの、疲労感、眼精疲労、その他の訴えはなかった。

表1に、22名の血液像を正常と比較して示した。重要なことは、完全に正常な例はなく、ラジウム、X線への過剰被曝に特徴的な所見[3,4,5,6]が多くの検体に

表1. ラジウム作業者22名の血液所見—正常者との比較

血液所見		ラジウム 作業者(%)	正常者(%)	
赤血球数	～400万	6	0	
	400～600万	75	100	
	600万～	19	0	
白血球数	～7,000	27	0	
塗抹標本	多形核球	60～72%	55	100
		～60%	45	0
		～55%	32	0
	リンパ球	20～25%	18	100
		25%～	64	0
		35%～	27	0
	単核球	3～8%	41	100
		8%～	59	0
	異常赤血球	36	0	
異常なし		0	100	

認められたことである。主な所見は、白血球数減少、多形核球の相対的減少、リンパ球の相対的増加であった。同様の所見は、以前に行なわれた Life Extention Institute によるこれらの従業員の検査でも認められているが、同団体はその意義を認識していなかった。対象を 22 名ではなく被曝の多い 14 名に限ると、血液異常の比率は著しく増加する。

結論

以上のような観察、調査から、当該事例の顎骨壊死について以下の結論に至った。筆、溶剤、硫化亜鉛に毒性は認められず、既知のラジウムの生物学的効果が強く疑われると言わざるをえない。他の工場の同様な従業員には、顎骨壊死の例を見出せなかった。しかし、異常血液像および歯科用フィルムの感光の事実は、従業員の過剰被曝があることの疑いない証拠である。さらにラジウム自体の空気経由の吸収経路も証明されている。この 2 つの経路、すなわち外部被曝および微量のラジウムの緩徐、長期にわたる吸収が、いずれか単独あるいは共存して骨破壊を来したかについては、現状では示すことができない。しかし、文献に記載されているラジウムの骨への影響、当該工場における放射線過剰被曝の事実、そして吸入によるラジウム吸収の可能性を考えると、ラジウムが何らかの方法で、かかる条件下でこれまで知られていなかった影響として、顎骨壊死の原因となっていると考えるものである。

作業者防護に関する勧告

当該工場における作業条件の改善勧告および、将来における同様の作業者の防護の問題について述べる。勧告は 2 つの危険要因について行なうものである。すなわち、明らかな γ 線の過剰被曝、およびそれほど明らかではないがおそらくより重大な、ラジウムエマネーションあるいはラジウム自体の吸収である。

このような職業における γ 線の防護は改善しなくてはならない。当該工場におけるその必要性は、工場内のいずれの場所でも歯科用フィルムが 1～2 週間で多かれ少なかれ感光することにより明らかである。方法は被曝条件によって異なるが、重要なことは、集中被曝源の影響からの従業員のスクリーニング [6]、および周囲へのラジウムを含む粉塵の堆積の予防である。

当該者のラジウム元素自体の吸収については、発光物質粉末の吸収によるものと考えられる。可能性のある吸収経路は、皮膚、消化管、肺の 3 つがある。この種の状況では、皮膚は吸収経路とは考えにくいだが、作業員の皮膚には通常の方法では除去できない発光物質粉末が付着している。

調査の 6 か月前に、筆先を口で整える習慣を廃止したことにより、相当量の発光物質が吸収されたと思わ

れる消化管の進入経路は停止している。調査の時点では、作業者が筆先を整える際に指に付着した塗料が、皮膚から吸収されたり、あるいは不十分な手洗い後に食物とともに口に入る可能性があった。夜光塗料のラジウムが不溶性塩であれば、曝露しても消化管はおそらく大きな吸収源とならないが、確実な知識がない現状では、この経路を無視することはできない。

不溶性物質の吸入は、効率的な吸収経路である [19,20]。吸入された粒子は肺に蓄積し、緩徐に溶解して全身に運ばれる。我々が行なった物体や作業員の発光性の調査は、目には見えないが、ラジウムを含むと思われる空気中の粉塵の存在を証明しており、確実に肺に吸入される。この経路には、塗装室の全員が明らかに曝露されている。

同様に、大量の発光性粉末を扱う者もこの経路で吸収されるラジウムに曝露する。粉末を軽量、配布する男性作業員によると、この物質は著しく軽く、その上で息をするだけで吹き飛び、それを防ぐには少し湿らせる必要があるという。この作業員は血液検査時には入職 2 週目であったが、短期間の曝露にもかかわらず、白血球の量、比率に疑わしい変化が認められた。この作業に以前に雇われていた少女は、鼻をかんだハンカチについた鼻汁が発光することに気付いていたという。

粉末が飛散する可能性のある施設に関しては、噴霧器で部屋に撒いた浮遊物が沈降する速度を計測する実験により確認できた。いったん浮遊すると、物質は非常に緩徐に沈降し、45 分後にもまだ空中に検出可能量が浮遊している。また我々は、顕微鏡で粉末粒子の大きさを計測した。粒子の 83% は直径 4μ 以下で、その大半は 2μ 以下であった。この大きさの粒子は、完全に静止した空気中でも数時間にわたって浮遊している [21]。同研究室での観察によると、空中に 2 時間浮遊する類似の無機粉塵は径 $3\sim 4\mu$ 、その多くは $6\sim 7\mu$ とされる。

従って、このような形でのラジウムあるいはそのエマネーションへの曝露は、この粉末その他の物質を扱う上で避けるべきであり、以下の方法を勧奨する。ラジウムと硫化亜鉛の混合、ラジウム含有物質のその他の取扱いは、作業室とは全く別の部屋で、フードの下で手袋をして行なうべきである。塗布作業者に小分けして配布する前の乾燥状態の物質は、別室のフードの下で基剤と混合すべきである。塗布作業者は、垂れた塗料を受けられる大きな紙を広げた机で常に作業し、この紙は 1 日 1 回焼却して、新しいものと交換する。作業者は襟の高い、長袖の作業エプロンを着用し、これは毎週洗濯する。手の皮膚からの吸収を防ぎ、女性が嫌う皮膚の発光を軽減する理想的な方法は、薄いゴム手袋を使用することである。外科手技においては、このような手袋を使用しても、少し慣れれば繊細、長時間にわたる作業の妨げとはならないことがわかっている。

従って、手袋を配給し、すべての作業者がこれを使用することを強く推奨する。手袋を着用したくない作業者は、昼食の休憩時間と5時にはただちに手を洗うべきである。洗面所には、各洗面器それぞれに良質の硬い爪ブラシと研磨せっけんと、個別のペーパータオルを備える。さらに、作業室は少なくとも2か月に1回、壁、天井、机、床などを徹底的に拭き掃除する。計量室は完全に別室とし、粉塵のリスクを避けるために適切なフードを備える。このような予防策によってエマネーションの危険は減少するが、ラジウムを封印しない限り完全に除去することはできない。

疾患の重篤な性質に鑑み、このような予防策の有効性を確認するために、効率的かつ系統的な医学的監視態勢を敷くことを早急に勧告する。全ての作業者の血液検査を含む定期検診を行ない、X線フィルムを定期的に着用させて、従業員が不当にラジウムに曝露していないかを知るための方法として導入すべきである。有意の血液変化が見られる者については、強制的に休暇を与えることが推奨される[22,23]。すべての作業者の歯の系統的な検査も必須の予防策である。

調査時点では、相当数の従業員が歯の治療を要する状態であった。抜歯の必要があっても、顎骨壊死の契機となることを恐れて拒否する者も一定数いた。これは非常に難しい問題で、答を出すこと必要があるが、残念ながら解決は容易ではなく、相当期間休職しても解決するものではない。C嬢は、夜光塗料作業を休職して3年後、抜歯後に重度の顎骨壊死を来したからである。個々人について同様の現象が起こるか起こらないか、現状では知る方法がない。問題を回避する最善

の方法は、従業員の歯の状態をできる限り良好に保ち、長期曝露歴のある者は抜歯しないことである。これより先は、個々の症例を熟知して抜歯の必要性を判断できる優秀な歯科医に任せることになる。

全般的には、ことにあたっては保存的治療を優先すること、抜歯を考慮する場合は歯科医と患者がリスクを十分理解して行なう事を示唆するにとどまる。

要約

慎重な調査結果に基づき、5名のラジウム塗料作業者に見られた新奇な病態について述べた。塗料中のラジウム量は非常に微量で、当該工場あるいは他の工場で同様の作業にあたる作業員がラジウムの危険を考慮するほどのものではない。しかし、血液検査とX線フィルムを使用した検査では、ラジウムの過剰被曝が証明され、この過剰被曝はラジウム塩を含む微粒子の吸引という特殊なものである。文献的に、このような条件下でラジウムは骨に蓄積するとされており、我々の注射による実験でもこれが確認された。さらに臨床的文献では、口腔癌に対するラジウム集中治療後の患者に顎骨壊死が(1例は抜歯後に)報告されている。従って、当該症例はラジウムが原因と考える必要があると思われる。これは最終的に証明されてはいないが、提案した対応策は一般的かつ特異的な重要性をもつもので、現状で最も安全な方法はこの観点から状況に対応することであると思われる。以上、最終的な結論を待たずに現状を報告することが必要と考えた。

1. KOBER, G. M., and HAYHURST, E. R.: Industrial Health. Philadelphia, P. Blakiston's Son & Co., 1924, p. 329.
2. DRINKER, P.: Certain Aspects of the Problem of Zinc Toxicity. *THIS JOUR.*, 1922-1923, 4, 177.
3. MOTTRAM, J. C., and CLARKE, J. R.: The Leucocytic Blood Content of Those Handling Radium for Therapeutic Purposes. *Arch. Radiol. and Electroth.*, 1919-1920, 24, 345.
4. MOTTRAM, J. C.: The Red Blood Cell Content of Those Handling Radium for Therapeutic Purposes. *Ibid.*, 1920-1921, 25, 194.
5. GUDZENT, F., and HALBERSTAEDTER, L.: Ueber berufliche Schädigungen durch radioaktive Substanzen. *Deutsch. med. Wehnschr.*, 1914, 40, 633.
6. WILLIAMS, R. C.: Preliminary Note on Observations Made on Physical Condition of Persons Engaged in Measuring Radium Preparations. *U. S. Pub. Health Rep.*, 1923, 38, 3007.
7. PFAHLER, G. E.: The Effects of the X-Rays and Radium on the Blood and General Health of Radiologists. *Am. Jour. Roentgenol.*, 1922, 9, 647.
8. LARKINS, F. E.: A Case of Acute Aplastic Anaemia. *Arch. Radiol. and Electroth.*, 1920-1921, 25, 380.
9. DOMINICI, H., and FAURE-BEAULIEU, M.: Arrêt et séjour prolongé du sulfate de radium dans les tissus vivants, pendant une durée excédant une année. *Compt. rend. Soc. de biol.*, 1910, 68, 46.
10. DOMINICI, H., PETIT, G., and JABOIN, A.: Sur la radioactivité persistante de l'organisme résultant de l'injection intraveineuse d'un sel de radium insoluble et sur ses applications. *Compt. rend. Acad. d. sc.*, 1910, 150, 726.
11. DOMINICI, H., PETIT, G., and JABOIN, A.: Radioactivité persistante de l'organisme sous l'influence des injections du radium insoluble. Sérothérapie radioactive. *Ibid.*, 1911, 153, 1509.
12. CLUZET: Action des rayons X sur le développement du cal. Etude macroscopique et radiographique. *Lyon méd.*, 1910, 114, 22.
13. RÉCAMIER, D., and TRIBONDEAU, L.: A propos de l'action des rayons X sur l'ostéogenèse. *Compt. rend. Soc. de biol.*, 1905, 57, II, 621.
14. REGAUD, C.: Sur la sensibilité du tissu osseux normal vis-à-vis des radiations X et γ et sur le mécanisme de l'ostéoradio-nécrose. *Ibid.*, 1922, 87, 629.
15. STOELTZNER, H.: Ueber den Einfluss von Strontiumverfütterung auf die chemische Zusammensetzung des wachsenden Knochens. *Biochem. Ztschr.*, 1908, 12, 119.
16. LEHNERDT, F.: Zur Frage der Substitution des Calzioms im Knochensystem durch Strontium. *Beitr. z. path. Anat. u. z. allg. Path.*, 1909, 46, 468; 1909, 47, 215.
17. DOMINICI, H., LABORDE, S., and LABORDE, A.: Etude sur les injections de sels de radium. *Compt. rend. Acad. d. sc.*, 1913, 156, 1107.
18. DOMINICI, H., LABORDE, S., and LABORDE, A.: De la fixation, par le squelette, du radium injecté à l'état soluble. *Compt. rend. Soc. de biol.*, 1913, 75, 108.
19. GOADBY, K.: A Note on Experimental Lead Poisoning. *Jour. Hyg.*, 1909, 9, 122.
20. MINOT, A. S.: Lead Studies V. B. The Distribution of Lead in the Organism after Absorption by the Lungs and Subcutaneous Tissue. *THIS JOUR.*, 1924, 6, 137.
21. GIBBS, W. E.: The Industrial Treatment of Fumes and Dusty Gases. *Jour. Soc. Chem. Indust.*, 1922, 41, 189T.
22. MOTTRAM, J. C.: The Effect of Increased Protection from Radiation upon the Blood Condition of Radium Workers. *Arch. Radiol. and Electroth.*, 1920-1921, 25, 368.
23. MOTTRAM, J. C.: The Use of Blood Counts to Indicate the Efficiency of X-Ray and Radium Protection. *Brit. Med. Jour.*, 1921, 2, 269.