

LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES DU POUMON ET LE PROBLÈME DE LA CONTRACTILITÉ PULMONAIRE (*)

Doct. ALDO LUISADA

Assistant

*Clinique médicale de la R. Université de Padova,
dirigée par le prof. G. FRUGONI).*

RÉSUMÉ DE L'A.

(Avec 4 planches doubles)

Le poumon, organe contractile. — La conception classique, qui voit dans le poumon un organe exclusivement doué de propriétés élastiques, semble toujours plus insuffisante vis-à-vis de la nécessité d'expliquer différentes formes pathologiques qui s'accompagnent d'altérations de forme et de volume de ce même poumon. Le collapsus massif du poumon, l'emphysème pulmonaire, les bronchiectasies, la façon de se comporter des poumons dans le pneumothorax, dans l'hydrothorax, dans l'accès d'asthme bronchique, sont des formes pathologiques que la théorie classique ne suffit pas à expliquer.

Pour éclaircir la pathogénèse de chacune d'elles, ayant épuisé la série d'hypothèses possibles, on a eu recours à un nouveau facteur, sous des noms différents: force vitale du poumon, force de rétraction du poumon, rétraction active, dilatation active, et tant d'autres mots, qui prouvent que la nécessité s'imposait de modifier les idées courantes sur la physiopathologie pulmonaire. Quelques AA. en sont venus à admettre une capacité contractile des fibres élastiques, hypothèse qui, à l'état actuel de nos connaissances, ne nous paraît pas admissible.

M'étant trouvé devant la réalité des faits par une observation casuelle qui m'a permis de constater la systole-diastole d'un poumon isolé, j'ai poursuivi une série de recherches sur des poumons d'animaux, en étudiant leurs propriétés actives par des méthodes mécaniques.

(*) *Minerva medica*, II, n. 48, 1929.

Mes recherches ont été faites suivant une technique variée, dont j'ai déjà exposé les détails, les résultats et les graphiques.

Je me borne à mentionner ici quelques détails sur la façon dont on exécutait la mesure de pression à l'intérieur de l'arbre respiratoire.

Dans chaque expérience, on obtenait la distension moyennant la pompe de l'appareil de PACHON (fig. 1, Pl. I); on plaçait le poumon en position intermédiaire entre la position de collapsus et celle de dilatation maxima. Ayant atteint le degré voulu et l'équilibre s'étant établi entre réaction élastique et dépôt d'air, on fermait le robinet séparateur, et on laissait que la plume de la capsule oscillographique enregistrât les variations de pression du circuit. Puisque dans la moitié capsule-manomètre-pompe on n'avait pas de pertes ni de mouvements, les variations de pression ne pouvaient tenir qu'à des changements de l'autre moitié, soit du système capsule-poumon. L'appareil était disposé de façon qu'une diminution de pression dans ce système eût à déterminer un abaissement de la plume. Etant donné qu'une semblable diminution peut aussi être causée par des pertes d'air à travers de minces lacérations du tissu, on n'a pas tenu compte des abaissements de la courbe. Au contraire, toute élévation qui marque une augmentation de pression à l'intérieur du poumon, peut avoir une grande importance pour l'étude de la musculature lisse, et on l'a prise en considération.

En résumant, en quelques mots, les résultats, nous pouvons dire que la musculature lisse broncho-pulmonaire peut exercer une action dynamique sur le contenu en air du poumon, en y déterminant, par sa contraction, une diminution de volume, et en chassant l'air hors du poumon.

Cette musculature, stimulée par la distension, réagit en général rapidement, en diminuant le volume pulmonaire et en augmentant la pression de la bronche; la réaction commence avec grande rapidité et s'épuise lentement.

Outre cette réaction tonique, le poumon peut donner des contractions cloniques, qui se suivent plus ou moins régulièrement (fig. 2 et fig. 4 Pl. I) et qui se vérifient parfois même en une fraction de seconde.

Pour expliquer ces faits, nous avons dû examiner à nouveau la question de la musculature du poumon, sur la base des études anatomiques les plus récentes: entre lesquelles sont dignes de remarque celles de BALTISBERGER.

La musculature lisse du poumon peut se distinguer :

a) en musculature interstitielle, formée par les cellules des membranes interlobaires et interlobulaires et des sépiments des cellules qui se trouvent près des vaisseaux et des plexus nerveux ;

b) en musculature parenchymateuse; celle-ci continue les couches musculaires de la partie membraneuse de la trachée et les tuniques des grosses bronches et des bronchioles; elle pénètre toujours plus profondément dans le tissu pulmonaire, revêt les bronchioles respiratoires, se tresse en filet autour de l'embouchure des alvéoles, suit les contours alvéolaires et revêt même souvent le fond en cul de sac des infundibuli.

Probablement le raccourcissement de la bronche produit par les fibres disposées obliquement aussi bien que le pressurage des alvéoles, produit par le réseau musculaire des conduits alvéolaires qui compriment un alvéole contre l'autre, contribuent à vider le poumon.

Quoi qu'il en soit, il est utile de rappeler que l'anatomie ne s'oppose pas à la conception du poumon comme organe contractile.

Les recherches susmentionnées permettaient d'admettre que la musculature lisse pulmonaire était capable de réactions rapides, et permettaient de supposer que dans la dynamique respiratoire le poumon se comporte comme organe actif fonctionnant synergiquement à la musculature tronco-abdominale.

Pour voir si cela était vrai, il fallut étudier de nouvelles méthodes plus subtiles qui permissent l'étude *in vivo* de la fonction pulmonaire. C'est pourquoi nous avons eu recours à l'étude systématique des manifestations électriques de la musculature broncho-pulmonaire à partir des poumons isolés pour arriver, par degrés, jusqu'à l'animal vivant, et enfin à l'étude de l'homme.

L'électrogramme du poumon isolé. — Les recherches que d'autres AA. ont poursuivies, nous permettaient de retenir que les muscles lisses, en général, révèlent leur contraction moyennant des courants d'action, et que les variations toniques lentes aussi bien que les contractions rapides donnaient lieu à des phénomènes électriques.

Pour l'enregistrement des courants, nous nous sommes servis d'un électrocardiographe de SIEMENS et SCHULTZE avec galvanomètre à miroir. D'éventuelles courbes mécaniques ont été enregistrées au moyen de capsules de FRANK et de la capsule de GERHARDT, habituellement employée pour les bruits cardiaques, où une membrane de gélatine porte le miroir.

Pour électrodes nous nous sommes servis: 1) de fils d'argent soudés à des fils de cuivre; 2) de fils de coton imbus en sol. physiologique; ceux-ci se rattachaient d'un bout aux tissus, de l'autre aux fils de cuivre connexes aux électrodes communs; 3) d'électrodes impolarisables de Du BOIS-REYMOND.

Pour préparer les poumons, on narcotisait légèrement les animaux à l'éther, on ouvrait le sternum, on liait les gros vaisseaux; ensuite on asportait en bloc la trachée, les grosses bronches, les poumons, ayant soin que des fragments d'œsophage ou de grosses artères n'eussent pas à adhérer. On suspendait ensuite la préparation à un support sans exécuter aucune perfusion; on introduisait une canule dans la trachée et on rattachait celle-ci moyennant un tube en T à un appareil d'enregistrement mécanique.

En d'autres cas, nous avons fait les enregistrements *in situ*, après avoir asporté le cœur et les grosses vaisseaux du thorax ouvert.

On a étudié les dérivations suivantes: *a*) grosse bronche-parenchyme pulmonaire; *b*) trachée-bronche; *c*) bronche droite-bronche gauche; *d*) trachée-parenchyme pulmonaire.

Après avoir fait les enregistrements à poumons immobiles, nous avons exécuté la distension des poumons avec une pompe électrique, ou soufflant avec la bouche dans le tube joint à la trachée.

Dans quelques recherches on a lié la bronche gauche suivant le schéma de la fig. 3, Pl. I et l'on a placé les électrodes aux deux grosses bronches, afin que d'éventuels courants surgissant à un seul des poumons, pussent plus aisément être enregistrés.

On a toujours placé le plus grand soin à isoler la préparation et la table d'opération du milieu ambiant, de manière que toute transmission de courant électrique fût écartée.

Ensuite, profitant d'un nouvel appareil — dont nous parlerons tout à l'heure — nous avons aussi amplifié les courants, et enregistré, p. ex., ceux de la fig. 5-7 (pl. I).

Résultats des recherches. — Les poumons isolés montrent une série de phénomènes électriques qui indiquent une activité leur appartenant en propre. Souvent l'on remarque de lentes variations de potentiel, parfois des détetes plus rapides. Les détetes rapides, prennent le plus souvent le type monophasique, mais présentent parfois un type diphasique, sont plus fréquentes quelque temps après la mort de l'animal, et se manifestent plus souvent si l'on a d'abord distendu le poumon. Ces variations électriques peuvent se manifester

même pendant plusieurs heures, pourvu que l'on empêche le dessèchement du tissu en le couvrant d'une gaze trempée en solution physiologique et qu'on le garde en milieu chaud.

Ces phénomènes électriques spontanés se vérifient dans les poumons de cobaye, de chat, de chien, et on peut les observer même si l'on emploie des électrodes impolarisables, bien que, dans ce cas, les déplacements soient moins amples.

Parallèlement aux variations spontanées de potentiel, paraissent aussi de véritables petites contractions, qui peuvent être aussi de type périodique.

Les variations de l'électrogramme offrent pourtant un intérêt bien plus grand si l'on exécute la *distension mécanique du poumon*, en déterminant par là une des stimulations les plus efficaces sur la musculature lisse. On voit alors qu'à toute distension mécanique et à toute rétraction successive correspondent des variations de potentiel (fig. 5); si la distension est plus forte, les variations sont plus amples, et, dans la rétraction spontanée qui suit la distension, on voit paraître une ample et régulière onde diphasique ou triphasique, qui est l'expression de la *contraction du poumon*. Cette contraction se fait d'une façon progressive de l'infundibulum vers la trachée (fig. 6).

Nous ne pouvons pas décrire ici tous les contrôles par lesquels nous nous sommes assurés de la nature des courants relevés; nous nous bornons à montrer la graphique de la fig. 7, où l'on voit que des poumons qui d'abord donnaient des phénomènes électriques, ne les présentent plus après 1' d'immersion en solution physiologique à 90°C, tout en gardant assez d'élasticité et de distensibilité (fig. 7).

Il y a un autre fait, du plus grand intérêt que nous avons remarqué. *Lorsque l'intervalle entre une distension et l'autre augmente, les courants pulmonaires sont plus intenses* que lorsque les distensions se succèdent avec grande fréquence, *la valeur de la distension demeurant la même.*

Arrivés à ce point nous avons considéré et comparé les graphiques obtenues en employant les différentes dérivations, pour voir quelle en était la meilleure, pour l'adopter et pour la suivre systématiquement. Nous avons vu que, dans tous les cas, la meilleure c'est la dérivation trachée-bronche, en plaçant l'un des électrodes (le positif) à la trachée, l'autre (le négatif) autour d'une des grosses bronches.

De recherches ultérieures ont démontré que l'origine des courants est dans tout le poumon, et non seulement dans l'espace entre l'un et l'autre des électrodes.

Les recherches que nous venons d'exposer prouvent un fait d'une grande importance, *la contractilité du poumon*. Elles ratifient, de la façon la plus évidente, le résultat des recherches précédentes, et nous permettent de constater aussi bien la contraction spontanée du poumon que sa réaction contractile à la distension, dans une préparation où les fibres musculaires *striées* font absolument défaut; nous voulons parler du poumon isolé.

La méthode électrique, dont nous avons décrit la première application, est sans doute la plus sensible entre celles qu'on avait employées jusqu'ici. C'est pourquoi elle mérite une place prépondérante dans l'étude du tissu musculaire lisse de l'appareil pulmonaire, soit u point de vue physiologique qu'à celui pharmacologique et pathologique.

L'utilité de cette méthode va mieux ressortir dans les recherches sur des animaux vivants.

Electrogramme à thorax ouvert. — Le problème d'enregistrer les courants de la musculature pulmonaire sur l'animal vivant se présentait bien plus difficile que sur l'organe isolé, étant donnée la présence du cœur. En effet cet organe offre par son activité des variations de potentiel si intenses (électrocardiogramme) qu'on ne saurait espérer de les écarter. C'est pourquoi dès les premières recherches, nous avons pris soin d'enregistrer des courbes électriques dans la meilleure dérivation pour recueillir les courants pulmonaires, sans nous préoccuper si superposées se trouvaient des courants cardiaques, bien reconnaissables d'ailleurs par la forme typique et la diversité de rythme.

L'électrocardiogramme est surtout représenté par l'onde R, l'électrogramme bronchique par de lentes ondulations de la ligne de base, qui sont très différentes de ces variations respiratoires qui peuvent être observées sur l'électrocardiogramme et qui — ou le sait — consistent surtout en variations de hauteur de l'onde R.

Pour obtenir de bonnes courbes, d'interprétation facile, recueillies en condition plus physiologiques, deux problèmes s'imposaient: le premier de diminuer l'intensité des courants d'origine cardiaque; le second de travailler à thorax fermé.

J'ai étudié avec PASOLI la question de l'amplification et de la filtration des courants pulmonaires, et cette étude nous a conduits à la description d'un nouvel appareil, qui amplifie, sans les déformer, les courants pulmonaires bien plus que les cardiaques, permettant d'obtenir de belles courbes (Voir la Bibliographie).

Pour l'enregistrement de l'*électrogramme à thorax fermé* avec respiration spontanée, nous avons essayé une nouvelle méthode. Nous nous sommes avisés de remplacer l'électrode péribronchique par un électrode endobronchique, et avons introduit par la trachée, dans une des bronches lobaires et ensuite dans une bronchiole, un électrode constitué par un fil métallique flexible, entièrement isolé, sauf à la pointe, qui était revêtue d'une mince couche de coton hydrophile imbu en solution physiologique. L'électrode est doucement introduit, de préférence, dans le poumon droit, dans son lobe inférieur.

Le schème de la disposition des électrodes et de celle des autres accessoires, pour les méthodes d'enregistrement mécanique (respiration abdominale, pneumotachographie) se trouve dans la fig. 10 (Pl. II).

La courbe que l'on obtient de cette façon a l'avantage d'être celle de l'animal qui respire spontanément; nous lui avons donné le nom d'*électro-broncho-gramme*, bien que les courants dérivent de tout le poumon.

Nous avons longtemps discuté sur la valeur de l'*électro-broncho-gramme*, s'il est comparable à l'*électrogramme* que donnent les poumons isolés, s'il est influencé par le courant d'action des muscles striés de l'appareil respiratoire. Nous renvoyons pour cela à un des travaux de la Bibliographie (LUISADA, *Minerva medica*, 1 décembre 1929) et en reproduisons ici la conclusion: *l'électro broncho-gramme représente la somme des courants d'action des muscles lisses du poumon*. Nous nous bornons à montrer un *électro-broncho-gramme* normal, dans ses rapports avec la respiration (fig. 12) et à démontrer que les contractions des muscles volontaires n'ont qu'une faible influence sur la courbe électrique (fig. 11).

Nous croyons que les recherches dont nous avons parlé jusqu'ici ont avancé de beaucoup l'étude du poumon. Elles nous ont permis d'enregistrer la courbe électrique du poumon chez des animaux vivants, qui respiraient spontanément et qui n'avaient subi qu'une légère narcose et un faible traumatisme opératoire: Cela nous a permis de confirmer l'importance de la fonction contractile broncho-pulmonaire dans la dynamique de la respiration; pendant tout acte respiratoire la musculature lisse se dilate et se contracte, conformant son effort à celui de la musculature striée et en réglant en partie les effets de celle-ci.

D'ailleurs la nouvelle méthode d'enregistrement que nous avons employée et décrite offre l'avantage d'altérer le moins que possible le cours régulé des fonctions vitales. C'est donc la plus physiologique

de toutes les méthodes employées jusqu'ici, et elle permettra de considérables progrès dans la connaissance des fonctions de la musculature lisse broncho-pulmonaire.

À cause de cela nous avons poursuivi une étude systématique du poumon, au point de vue physiologique et pharmacologique, dans le but de compléter les notions déjà acquises.

Nous allons exposer brièvement les résultats obtenus. Nous croyons pouvoir déduire de l'allure des courbes que la musculature lisse commence la dilatation inspiratoire au bout de la trachée, la finit dans les infundibuli; elle commence la contraction expiratoire dans les infundibuli pour la terminer à la trachée.

La courbe normale de l'électro-broncho-gramme ressemble parfois plutôt à celle de la respiration thoracique et abdominale, parfois à celle du pneumotachogramme. Ses rapports avec les courbes dont nous venons de parler ne sont pas constants, comme nous verrons tout à l'heure. En général l'onde expiratoire de l'électro-broncho-gramme retarde un peu sur le maximum de la courbe de vitesse du courant de la respiration. Des conditions pathologiques peuvent déplacer remarquablement ces ondes électriques en changeant non seulement leur forme, mais aussi leurs rapports avec la respiration externe.

La hauteur des ondes de l'électro-broncho-gramme est en rapport avec trois facteurs :

1) *l'ampleur de la respiration*. En effet la contraction et la dilatation bronchiale par l'augmentation des stimulations reçues sont d'autant plus amples que la ventilation produite par la musculature thoracique dans le poumon est plus ample ;

2) *le rythme de la respiration volontaire*. A égalité d'effort respiratoire, quand la respiration est rare, les contractions sont plus intenses. Nous verrons mieux dans la suite les facteurs musculaires et nerveux qui peuvent influencer sur cela, mais nous pouvons dire dès à présent que probablement cela tient, d'un côté au plus grand repos accordé à la musculature, de l'autre aux stimulations parallèles du vague qui peut donner lieu à un agrandissement de la courbe électrique ;

3) *l'effort de contraction de la musculature lisse*. A parité des deux autres facteurs, plus la contraction de la musculature lisse est intense, plus amples sont les ondes de l'électro-broncho-gramme. Ce troisième facteur est assez important pour produire une augmenta-

tion d'ondes, même si la respiration externe devient plus faible et plus fréquente.

Tonus et contractilité. — L'électro-broncho-gramme met en évidence avec une égale précision les variations de tonus et les contractions de la musculature lisse. Les premières se manifestent par de lents déplacements de la ligne moyenne (fig. 9); les secondes par des variations souvent diphasiques, d'ampleur remarquable, qui prennent parfois un type périodique (fig. 8).

Innervation végétative. — L'importance de l'innervation végétative pour le contrôle et pour la modification de la fonction de la musculature lisse broncho-pulmonaire est mise en relief par les recherches que nous avons faites en stimulant ou déprimant les vagues et les fibres sympathiques. Le résultat de nos recherches s'accorde avec ce que d'autres auteurs (TRENDELENBURG, EINTHOVEN, DIXON et BRODIE, JANUSCKHE et POLLAK) avaient trouvé; mais il met en évidence plusieurs détails que les méthodes rudimentaires employées par ces AA. ne permettaient pas de bien définir.

L'excision d'un des vagues ne modifie pas sensiblement l'électro-broncho-gramme; au contraire l'excision des deux vagues, tandis qu'elle altère profondément la forme et le rythme de la respiration, altère aussi remarquablement l'électro-broncho-gramme. La respiration se fait rare et souvent une inspiration et une expiration s'alternent à une distance remarquable. L'électro-broncho-gramme, au contraire, marque de lentes et amples variations toniques, dont le maximum d'excursion précède le commencement de la phase qui correspond à la respiration active. On a l'impression que la synergie qui existe habituellement entre musculature lisse et musculature striée devient moins parfaite après l'excision des vagues.

La *stimulation du vague* a été tentée en voie périphérique tronculaire, en voie centrale, en voie réflexe. On a obtenu la stimulation périphérique en appliquant sur le tronc du vague droit un coton imbu d'acide sulfurique à 10%.

La *stimulation centrale* a été tentée par voie chimique en faisant inhaler à l'animal de l'anhydride carbonique, par la trachée. La fig. 14 montre les effets de la stimulation.

Dans une 1^{ère} phase on voit un changement dans la forme de l'électro-broncho-gramme. On y voit un plateau continu, qui marque probablement une imparfaite dilatation; et de là l'on voit partir des ondes positives plus rapides, qui paraissent à moitié de la phase res-

piratoire. A mesure que l'action progresse, l'on remarque une augmentation considérable dans l'ampleur de la courbe broncho-graphique et un changement de phase de celle-ci vis à vis de la courbe de la respiration externe. En effet l'on a un remarquable retard de la courbe électrique, et l'on voit qu'au moment où la contraction bronchiale commence, la courbe de la respiration abdominale montre un redoublement en crochet de la ligne expiratoire, comme si, en face d'une obstacle subit, les muscles volontaires se relâchassent, pour augmenter aussitôt après leur effort. Tout cela est d'autant plus remarquable que la tachypnée qui se manifeste devrait donner un rapetissement de la courbe électro-broncho-graphique.

On devrait conclure de ces recherches que la contraction expiratoire de la musculature lisse, si elle est utile quand elle est synergique à l'acte expiratoire de la musculature striée, devient nuisible quand elle intervient trop tard; il est possible que cela tienne aussi au fait que, durant la plupart du temps de l'expiration, l'aide des muscles lisses fait défaut, ou bien à la prévalence de la contraction des gros troncs sur celle des petits. Quoi qu'il en soit, la stimulation du vague peut produire un obstacle à la sortie de l'air, tout en accentuant l'ampleur des contractions bronchiales.

La stimulation réflexe du vague peut s'obtenir de différentes façons, p. ex. moyennant le tiraillement de l'estomac. Nous avons fait aussi cet essai, que rapporte la fig. 15, et nous avons obtenu, outre des phénomènes semblables aux susmentionnés, la présence de quelques contractions bronchiales fort rapides, qui apparaissaient régulièrement entre inspiration et expiration, au moment du maximum de relâchement de la musculature.

Pour ce qui a trait à la *stimulation du sympathique*, nous avons essayé de l'obtenir par voie réflexe; ce qui est possible quand on exécute la compression du plexus solaire.

Dans ce but, ayant ouvert l'abdomen de l'animal et soulevé les viscères par l'ouverture, on a enregistré la courbe pneumotachographique et la courbe électro-broncho-graphique, d'abord à l'état normal, ensuite pendant la compression du plexus solaire exécutée avec une pince revêtue de coton.

Pendant la compression on a un certain rapetissement de la courbe, probablement par réduction de la contractilité. Nous ne pouvons pas encore dire si celle-ci dépend de faits d'hypertonie. Le problème d'un intérêt remarquable pour la chirurgie a été étudié par nous avec le prof. OSELLADORE. Il est en cours de publication.

* * *

Nous allons maintenant décrire les recherches principales d'une longue série de recherches pharmacologiques.

1) *Substances qui agissent sur le système nerveux végétatif.* — La *pilocarpine* détermine un agrandissement de la courbe électro-bronchographique, avec action proportionnelle à la dose; si la dose est forte pourtant (au delà d'1 ctgr.), la courbe devient moins régulière et l'augmentation d'ampleur de l'électro-cardio-gramme rend plus difficile de la suivre.

A vagues excisés la *pilocarpine* donne aussi une augmentation de la courbe et détermine l'apparition d'irrégulière et amples ondulations à type diphasique, souvent remarquablement en retard ou en avance sur la phase correspondante de la respiration.

On voit donc que l'action de la *pilocarpine* se déroule en grande partie sur les organes terminaux du vague.

L'*atropine*, en doses assez fortes pour suspendre l'action vagale (d'1 mgr. à 5 mgr. par Kg.), ne modifie pas sensiblement l'électro-broncho-gramme. Nous verrons tout à l'heure son action en doses encore plus fortes.

L'*adrénaline*, en doses de mmgr. 0,01 jusqu'à mmgr 0,1-0,2, manifeste une action déprimente sur la contractilité bronchiale, qui se révèle par un rapetissement de l'électro-broncho-gramme, semblable à celui que l'on obtient en stimulant le sympathique par voie réflexe.

L'*adrénaline* en fortes doses (mmgr. 0,5 et doses supérieures) donne, au contraire, une augmentation d'ampleur de la courbe, qui devient remarquablement irrégulière. Il est difficile de suivre exactement l'action des fortes doses d'*adrénaline* à cause de la grande ampleur de l'électro-cardio-gramme, mais on a la nette impression qu'il se vérifie une stimulation de la contractilité, alternant avec des périodes d'hypertonie.

2) *Substances qui agissent directement sur la musculature lisse.* — L'*histamine* en petites doses (mmgr. 0,1-0,5), modifie déjà l'électro-broncho-gramme; pourtant ce sont surtout les fortes doses (de mmgr. 0,8 à mmgr. 1 sur des animaux de 2-3 Kg.) qui déterminent des phénomènes imposants.

Après l'injection on a, pendant un court laps de temps, de l'apnée, puis une suite de respirations amples et de respirations petites, qui correspondent à des variations inverses de l'électro-broncho-gramme.

Ce fait se produit de temps en temps même plus tard, et prouve avec évidence l'empêchement que la contraction bronchiale donne à la respiration.

A une respiration faible et fréquente suit une respiration plus ample, avec expiration prolongée et souvent redoublée. Ici la courbe électrique a remarquablement déplacé ses rapports, puisqu'elle a son maximum négatif à moitié de l'expiration, son maximum positif à moitié de l'inspiration.

Il est difficile de préciser comment les faits se passent, mais il est sûr que l'on a une dysergie entre travail de la musculature lisse et travail de la musculature striée; et il n'en est pas moins sûr que le courant aérien rencontre un obstacle à la sortie: si bien qu'à chaque contraction plus ample de la musculature lisse correspond une respiration faible et avortée.

A vagues excisés l'histamine augmente aussi l'ampleur de l'électro-broncho-gramme, tandis que le maximum de la courbe électrique expiratoire retarde de beaucoup sur le maximum de la courbe mécanique.

Atropine et papavérine. — Ces deux substances agissent en qualité de paralysants de la musculature lisse (BOTTAZZI).

Nous avons employé dans ce but de fortes doses de l'une et de l'autre, et avons réussi à abolir tout à fait les excursions de l'électro-broncho-gramme, qui étaient auparavant amples et bien évidentes.

La fig. 13 montre les graphiques de l'expérience avec atropine et papavérine. On y voit enregistrés l'électro-broncho-gramme et la respiration abdominale d'un lapin. Après une injection intraveineuse d'atropine, la courbe électrique se réduit d'un troisième; après injection intraveineuse de papavérine, la courbe électrique se réduit à moins de la moitié; après injection intra-péritonéale d'atropine et de papavérine, la courbe électrique se réduit aux seules petites ondulations d'origine cardiaque (les ondes T de l'eeg.), tandis que l'électro-broncho-gramme disparaît; après 10 minutes on assiste à la reprise graduelle de la fonction bronchique. A vagues excisés il est possible de réduire de $\frac{4}{5}$ les excursions de l'électro-broncho-gramme; mais des doses plus fortes sont nécessaires, étant donné l'ampleur de la respiration et, par conséquent, l'intensité de la stimulation produite sur les muscles lisses.

Ces recherches viennent à l'appui de celles de BOTTAZZI sur les muscles lisses, en étendant à la musculature lisse broncho-pulmo-

naire la propriété d'être paralysée par de fortes doses d'atropine et de papavérine. Elles ont aussi pour nous une grande importance, puisque, si l'on réussit à déterminer la disparition des variations électriques du poumon, on affirme sans contestation la nature de *courants d'action*.

3) *Les narcotiques*. — *La morphine*, par petites doses, n'a presque pas d'action sur l'électro-broncho-gramme. En doses moyennes, au contraire, (0,5-1 ctgr. pro kilo dans le lapin), elle manifeste une action nette et bien évidente.

Tandis que la respiration se fait plus rare et plus ample, l'électro-broncho-gramme montre un agrandissement qui prend des proportions vraiment extraordinaires. Cela pourra tenir en partie à l'apparition d'une pause entre un acte respiratoire et l'autre, en partie à l'augmentation de profondeur de la respiration; mais il est vraisemblable que la plupart dépend d'une action directe de la morphine sur la musculature bronchique.

La fig. 16 montre cet effet de la morphine joint à un prolongement de l'inspiration, à un accourcissement de l'expiration. Pour ce qui a trait aux rapports avec le courant respiratoire, l'on voit que l'onde négative de l'électro-broncho-gramme aussi bien que l'onde positive avancent quelque peu sur ce que l'on avait normalement. En rattachant cela au fait que le sommet expiratoire du pneumotachogramme coïncide avec la rapide contraction bronchique, on est porté à penser que c'est justement à cette contraction que l'on doit en partie la puissance et la rapidité de l'expiration. Il se peut, au contraire, que des doses très fortes de morphine aient une action dépressive, et que d'autres espèces aient une différente façon de se comporter.

L'éther. — Etant donnée l'action toxique directe que l'éther peut avoir s'il agit par inhalation, nous avons étudié ce narcotique, l'introduisant aussi bien par voie rectale que par voie respiratoire.

Par voie rectale l'éther détermine un agrandissement fort remarquable des excursions de l'électro-broncho-gramme, et cet agrandissement se manifeste sans déplacement des rapports avec la respiration, et a une action favorable, puisqu'il s'accompagne à un raccourcissement expiratoire en comparaison de l'inspiratoire.

Voir pour cela la fig. 17, qui montre, entre autre, une forme à type disphasique de l'électro-broncho-gramme. Vice-versa, par voie inhalatoire l'éther donne une réduction progressive des excursions de

l'électro-broncho-gramme. Cela dépend probablement de l'action directe du médicament et du refroidissement local qu'il produit; le prouve le fait que les ondes électriques augmentent rapidement, dès que l'on suspend l'inhalation, bien que l'état de narcose persiste.

Une action tout à fait déprimante sur l'électro-broncho-gramme exercent, selon nos recherches, a) le *chloral*; b) le *chlormalose*; c) le *chloroforme*.

Les trois narcotiques ont été employés en doses très fortes, les deux premiers par voie endoveineuse, le troisième par inhalation.

* * *

L'intérêt remarquable que l'étude de la musculature lisse bronco-pulmonaire offre dans le choc anaphylactique nous a engagés à étudier l'électro-broncho-gramme durant le choc en différentes séries d'animaux de différentes espèces.

Nous ne pouvons pas donner ici les détails de nos recherches, fort nombreuses, qui exigeraient une longue discussion. Nous renvoyons au travail cité (LUISADA, *Min. Med.*, 1, XII, 1929), où les courbes originales sont de toute évidence.

Pour les recherches poursuivies sur les variations de l'électro-broncho-gramme dans le pneumothorax artificielle nous renvoyons aussi à une note qui est en cours de publication (sur les *Archives Médico-Chirurgicales pour l'appareil respiratoire*).

* * *

Nous allons nous occuper de l'enregistrement de l'électro-broncho-gramme chez l'homme.

L'enregistrement de l'électro-broncho-gramme chez l'homme constituait pour nous le but final de notre étude; il exigeait pourtant des modifications et des adaptations de la technique suivie jusqu'ici.

Vu les progrès de la moderne bronchoscopie, nous pouvions aisément penser à introduire dans une bronche une mince sonde portant un électrode; pourtant plusieurs difficultés restaient à résoudre: 1) l'introduction de cette sonde; 2) la nature de cette sonde; 3) l'application de l'autre électrode.

Technique. — Voici comment nous avons résolu la première difficulté. Ayant anesthésié le pharynx et le larynx par une solution

de cocaïne à 20%, nous avons introduit jusqu'au dessous des cordes vocales une canule métallique recourbée, que nous mettions entre les dents du sujet, qui devait la garder fixe. A l'intérieur de cette canule nous glissions la sonde, qui portait plusieurs marques. La première nous indiquait la sortie de la canule; la seconde nous indiquait l'arrivée à la bifurcation de la trachée; un peu avant le passage de celle-ci, nous faisons pencher le sujet sur le côté, de façon que la sonde eût à pénétrer dans la grosse bronche de droite. Les autres marques étaient disposées de 5 à 5 cm. Nous faisons pénétrer 35-55 cm. de sonde au dessous du larynx, en faisant respirer lentement, et n'introduisant que pendant l'inspiration, tant que l'on n'eût la sensation que le bout fût solidement saisi par la paroi bronchiale.

Après plusieurs essais, nous avons construit un type de sonde ainsi formé. Dans une sonde urétrale de fibre, longue et mince, nous avons introduit une corde de violon, soit un filament d'intestin de chat, revêtu à l'extérieur de cuivre; la corde du violon, qui sortait par 2 mm. avec le revêtement de la sonde, était couverte de coton hydrophile solidement lié et imbu de solution physiologique. Les signes étaient placés à l'externe de la sonde avec de la soie rouge. On stérilisait tout en alcool à 50°C, puis on liait le coton imbu de solution physiologique stérilisée. On avait par là le milieu isolant (sonde), le milieu conduisant (cuivre-coton humide), et l'on obtenait les qualités physiques nécessaires,

Pour ce qui a trait à l'autre électrode, après plusieurs essais, nous avons mis tout autour du cou une bande de coton, imbue en solution physiologique, qui portait dans une poche un électrode en plomb flexible, auquel était soudé un fil de cuivre.

Ce dispositif, semblable à ceux que l'on employait pour l'électrocardiologie, nous obligeait à des essais de contrôle quant au siège d'application, pour vérifier si l'on ne recueillait pas d'éventuels courants d'action générale des muscles du pharynx et du larynx. Pour ce qui regarde les muscles respiratoires proprement dits, puisque nous étions dans les mêmes conditions que sur l'animal, ou pouvait appliquer à l'homme les conclusions des expériences précédentes. Pour l'homme aussi nous nous sommes servis de l'amplificateur-filtre thermoïonique de PASOLI.

Ayant placé les électrodes de la façon susdite, nous avons enregistré les courants qui se produisaient, et en même temps nous avons recueilli les courbes de la respiration abdominale.

En invitant le sujet à déglutir ou à parler, on n'avait pas à remarquer des modifications de la courbe, mais souvent de nouvelles et désordonnées ondes électriques superposées apparaissaient. D'ailleurs l'anesthésie et la présence de la canule rendent bien difficiles ces mouvements, dont les courants sont bien reconnaissables des autres. Toutes les objections que nous nous étions posées tombent donc, en partie, peut être, pour la nature circulaire de l'électrode placée au cou. Des ondes éventuelles résultant d'activité rythmique pharyngolaryngie une de type respiratoire ne sont pas trop admissibles, pour la même raison.

La courbe électrique enregistrée est donc un vrai électro-broncho-gramme. Elle ressemble beaucoup aux courbes électro-bronchographiques des animaux, mais s'en différencie par un détail: à la moitié des l'expiration paraît souvent une grande onde diphasique qui représente la forte contraction expiratoire des muscles lisses (fig. 18.).

Arrivés à ce point de nos recherches, nous croyons pouvoir dire que les moyens pour l'étude des formes pathologiques humaines sont apprêtés. Les recherches poursuivies sur les animaux, forcément incomplètes, puisqu'elles ne visent qu'à démontrer la nature et la valeur de l'électro-broncho-gramme, nous permettent désormais d'interpréter les courbes que nous pourrions obtenir sur nos malades.

Pour la bibliographie, nous nous bornons à signaler ce qu'on a fait jusqu'ici dans la Clinique Médicale de Padova.

BIBLIOGRAPHIE. — Pour la bibliographie, nous nous bornons à signaler ce qu'on a fait jusqu'ici dans la Clinique Médicale de Padova. — A. LUISADA, *Tono e contrattilità delle muscolatura liscia del polmone* (Arch. di Fisiol. - Ott. Dic. 1928). — IDEM., *Azione di ostacoli continui, espiratori o inspiratori sulla forma del respiro* (Riforma Med., n. 43, 1928). — CHINI, *Influenza del vago e azione della muscolatura liscia sulla forma del respiro* (Riforma Med., n. 8, 1929). — IDEM., *La reazione della muscolatura bronchiale nello shock anafilattico* (Riforma Med., n. 19, 1929). — IDEM., *Azione di alcuni medicamenti sulla forma del respiro nelle dispnee* (Rinasc. Medico, 1928, n. 22). — A. LUISADA, *La muscolatura liscia broncopolmonare negli accessi di asma bronchiale anafilattico*, Minerva Med., n. 20, 1929). — IDEM., *L'elettrogramma della muscolatura liscia polmonare*. Minerva Med. 1 dicembre 1929). — PASOLI, *La valvola termoionica in biologia* (Minerva Med., n. 36, 1929). — LUISADA e OSELLADORE, *Ricerche di elettrobroncografia su problemi chirurgici* (in corso di pubbl.). — A. LUISADA *Die Lunge als contractiles Organ* (Brauers Beitr. für Tuberkulose, in corso di pubbl.). — IDEM., *La contraction du poumon* (Archives Médico-Chir. de l'appareil respiratoire. In corso dipubl.).

Explication des 4 planches.

- Fig. 1. — Dispositif pour enregistrer les variations de pression dans la bronche.
- Fig. 2. — Chat de 2 Kg. — Après la mort on enregistre la réaction du poumon d. Réaction tonique et contractions rapides irrégulières après distension. Appareil comme fig. 1 rallié à la bronche d. Chymographe STRAUB. Temps en".
- Fig. 3. — Schéma disposition électrodes pour recherches sur poumons isolés.
- Fig. 4. — Chat Kg. 2,700 — Dispositif comme dans la fig. 1 connexe à la bronche principale de droite. Réaction du poumon droit peu après la mort de l'animal. Temps en secondes.
- Fig. 5. — Phénom. électriques de poumons isolés, rythmiquement distendus. Dérivation trachée-bronche. Electrodes impolarisables. Sur l'original le papier a une vitesse de 25 mm. par seconde (Réduit à la $\frac{1}{2}$).
- Fig. 6. — Mêmes poumons de fig. 5 soumis à des distensions plus fortes. A moitié de la rétraction expiratoire une onde diphasique paraît.
- Fig. 7. — Poumons fig. 5 après avoir été trempés pendant 1' en sol. physiol.
- Fig. 8. — Variations périod. scontractilité révélées par l'él.-br.-gr. Lapin 2 Kg.
- Fig. 9. — Grande onde diphasique suivie de variations toniques de l'él.-br.-gr dans un lapin auquel on a injecté une forte dose d'adrénaline.
- Fig. 10. — Schéma de la dérivation à thorax fermé pour l'él.br.-gr.
- Fig. 11. — Chien Kg. 19. Expérience d'occlusion de la trachée (entre les signes). El.-br.-gr. et courbes mécaniques de la resp. La flèche indique une tentative inutile d'inspirer; et en correspondance d'elle l'on a une contraction des muscles striés de l'appareil respiratoire: galv. 2,0, syst. non amplifié.
- Fig. 12. — Chien Kg. 6,5 — morphine ctgr. 5 sous la peau — El.-br.gr.Resp. abdominale. Galv. 2,0 non amplifié.
- Fig. 13. — Lapin Kg. 1,5. Morphine ctgr. 2 sous la peau. El.-br.-gr. et resp. abd. Galv. 2, non amplifié, résist. 8: a) normale; b) après atropine sulf. ctgr. 2 endoveineux; c) après papavérine chlorhydr.ctgr.8 endoveineux, d) après atropine cgr. 1, papavérine ctgr. 3 en péritoine; e) après 10'. Parésie progressive de la musculature du poumon et reprise successive.
- Fig. 14. — Chat Kg. 3. Narcose par éther suspendue depuis peu. Galv. 2; amplif. 1; résist. $\frac{3}{4}$. Insufflation de CO_2 et stimulation centrale du vague; a) normale; b) en cours de stimulation; c) au maximum de l'action.
- Fig. 15. — Lapin Kg. 1. Narcose éthérée par voie rectale. El.-br.gr. et pneumotachogramme. Galv. 0,8; amplificateur; résist. 3: a) l'abdomen est ouvert et les viscères enlevées; b) traction permanente à poids de l'estomac.
- Fig. 16. — Lapin Kg. 2 sans narcose. Electro-broncho-gramme. Pneumotachogramme: a) normal; b) 20' après l'injection souscutanée de cgr. 2 de chlorhydr. de morphine. Galv. 0,9; amplificateur; résistance 3.
- Fig. 17. — Lapin 2 Kg. — Electro-broncho-gramme et respiration abdominale. Galv. 0,8; amplificateur; résistance 3; a) normale; b) 20' après un clysmes de 10 cc. de sol. 65% d'éther en huile d'olive; c) après 35'.
- Fig. 18. — Electro-broncho-gramme humain. Les courbes électriques et mécaniques ont été enregistré sur un sujet de 12 ans atteint de coxite; normal pour ce qui tient à l'appareil respiratoire,

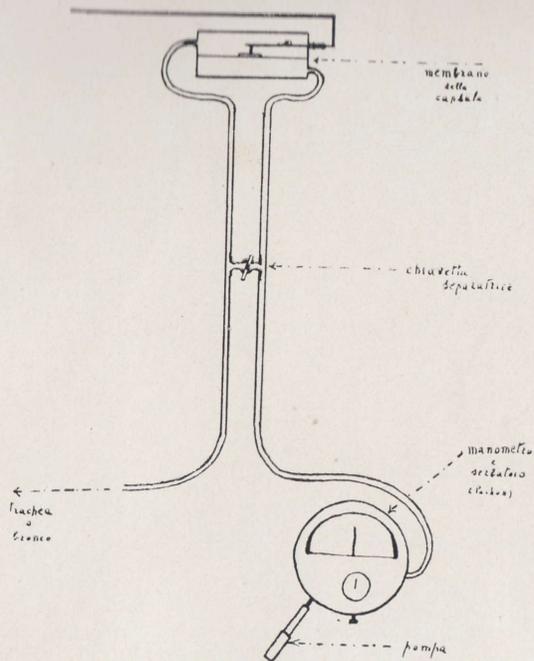


Fig. 1. -- Dispositivo per la registrazione delle variazioni di pressione nel bronco.

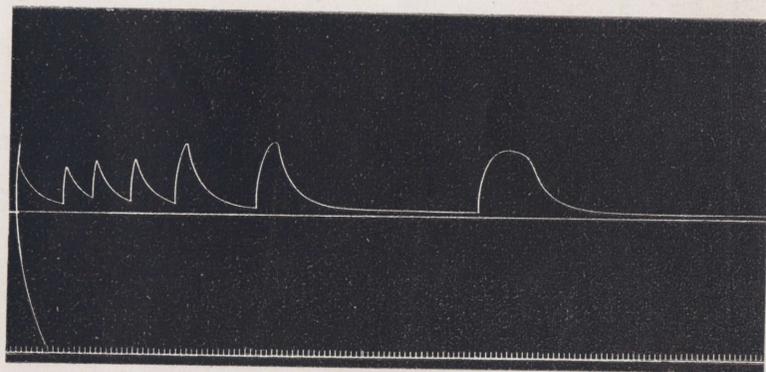


Fig. 4. - Gatto kg. 2.700 - Dispositivo come nella fig. 1 connesso al bronco principale di destra. Reazione del polmone destro poco dopo la morte dell'animale. Tempo in secondi.

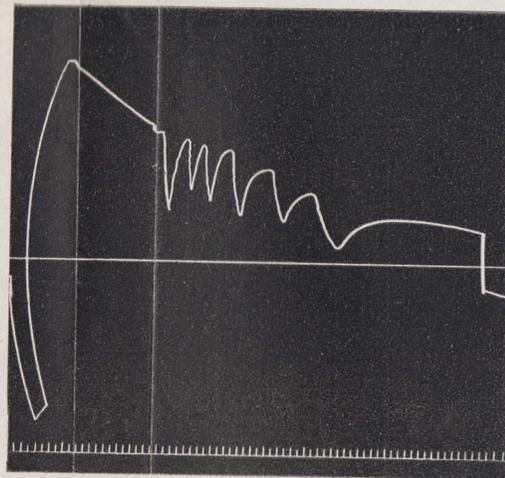


Fig. 2. - Gatto di kg. 2 - Dopo la morte si registra la reazione del polmone destro. Reazione tonica e contrazioni rapide irregolari dopo distensione. Apparato come nella fig. 1 connesso al bronco destro. Chimo-grafo di Straub. Tempo in secondi.

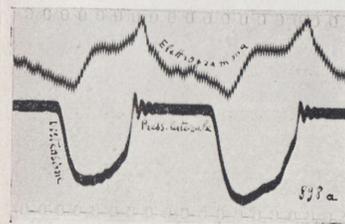


Fig. 5. - Fenomeni elettrici di polmoni isolati, distesi ritmicamente. Derivazione trachea-bronco D₀. Elettrodi impolarizzabili. Sull'originale la carta scorre alla velocità di 25 m/m al secondo. (Riduzione a metà).

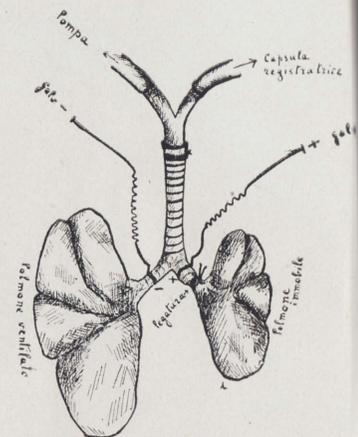


Fig. 3. - Schema della disposizione degli elettrodi per alcune ricerche su polmoni isolati.

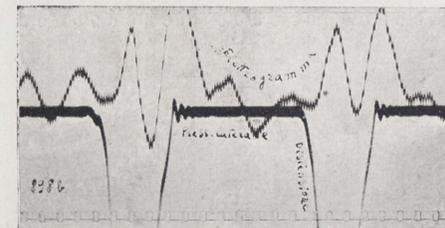


Fig. 6. - Gli stessi polmoni della fig. 5 eseguendo distensioni più forti; compare un'onda difasica a metà della retrazione espiratoria.

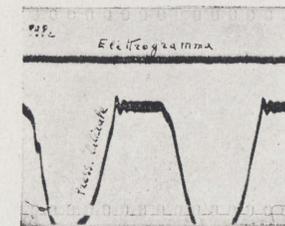


Fig. 7. - Gli stessi polmoni della fig. 5 dopo 1 minuto di cottura in soluzione fisiologica.

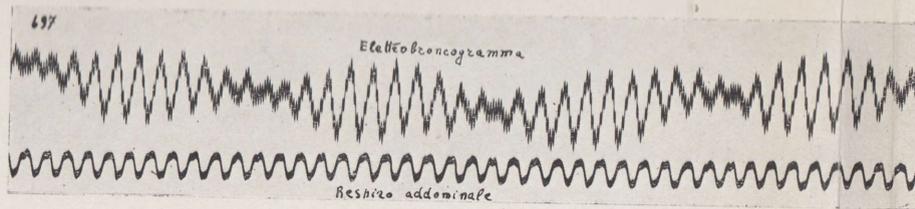


Fig. 8. — Variazioni periodiche della contrattilità rivelate dall'elettrobroncogramma. — Coniglio Kg. 2, sveglio.

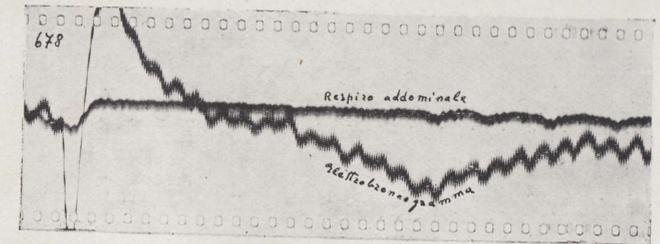


Fig. 9. — Grande onda difasica seguita da variazioni toniche dell'elettrobroncogramma in coniglio a cui si è iniettata una forte dose di adrenalina.

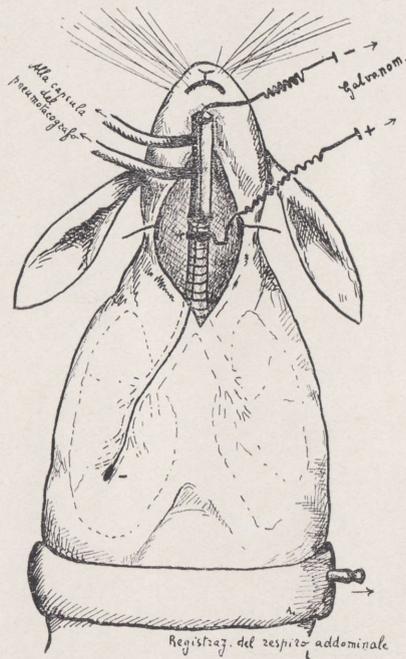


Fig. 10. — Schema della derivazione a torace chiuso per la registrazione dell'elettrobroncogramma.

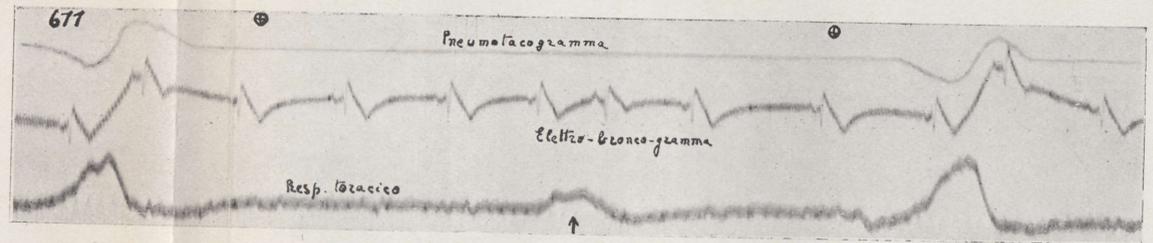


Fig. 11. — Cane Kg. 19 — Esperimento di occlusione della trachea (fra i segni ••). Elettrobroncogramma e curve meccaniche del respiro. La freccia indica un tentativo inane di inspirare e in corrispondenza di essa si ha la contrazione dei muscoli striati dell'apparato respiratorio: galv. 2,0, sist. non amplificato.

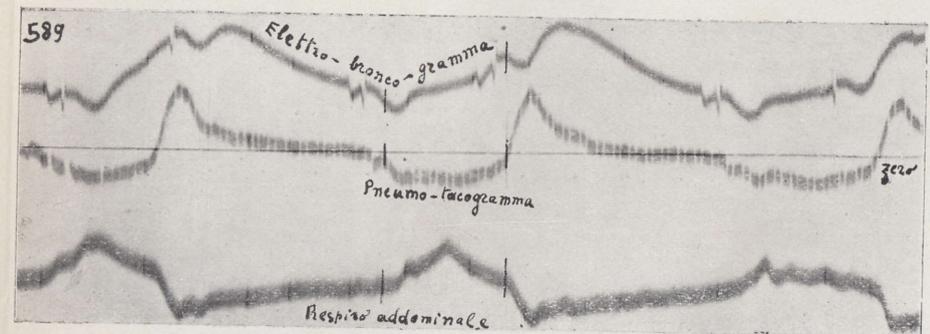


Fig. 12. — Cane Kg. 6,5 - morfina cgr. 5 sottocute. — Elettrobroncogramma normale. Pneumotacogramma. Respiro addominale, galv. 2,0 non amplificato.

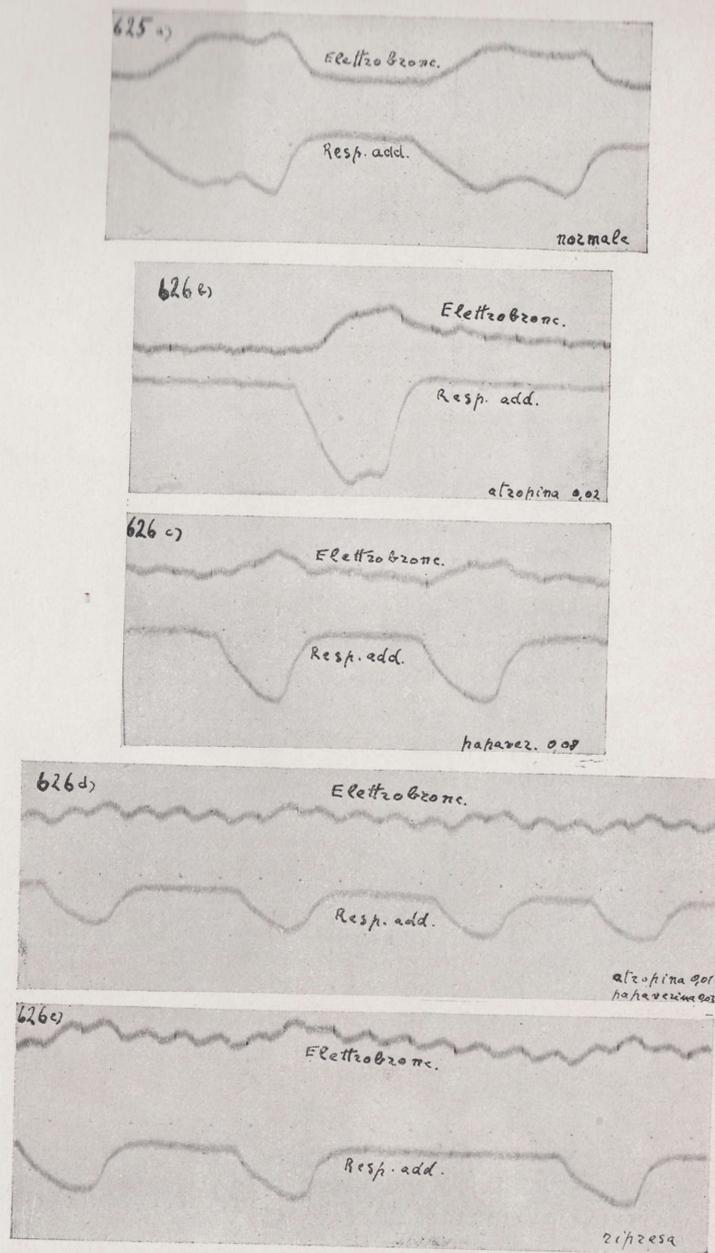


Fig. 13. - Coniglio Kg. 1,5 - Morfina ctgr. 2 sottocute. Electrobroncogramma e respiro addominale. Galv. 2; non amplificato; resist. 8: a) normale; b) dopo atropina solf. ctgr. 2 endovena; c) dopo papaverina cloridr. ctgr. 8 endovena; d) dopo atropina ctgr. 1, papaverina ctgr. 3 in peritoneo; e) dopo dieci minuti. Progressiva paresi della muscolatura del polmone e ripresa successiva.

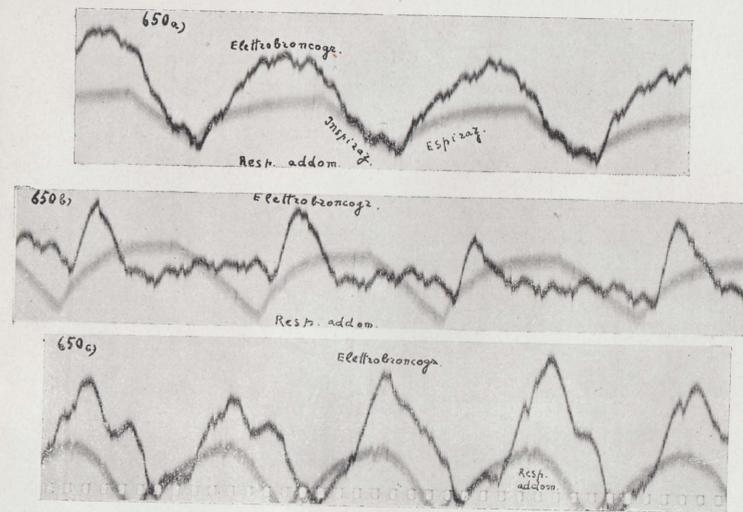


Fig. 14. - Gatto Kg. 3 - Narcosi eterea sospesa da poco. Galv. 2; amplificaz. 1; resist. 2, 3/4. Insufflazione di CO₂ e stimolazione centrale del vago: a) normale; b) in corso di stimolazione; c) al massimo dell'azione.

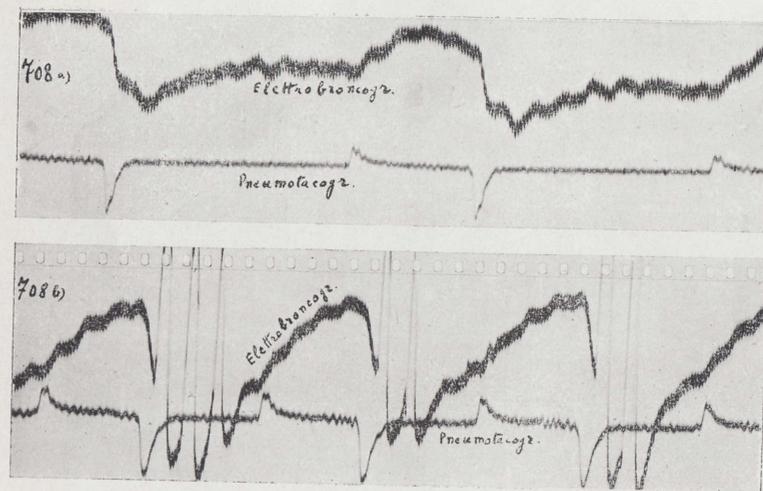


Fig. 15. - Coniglio Kg. 1 - Narcosi eterea per via rettale. Electrobroncogramma e pneumotacogramma. Galv. 0,8; amplificatore; resist 3: a) aperto l'addome ed estratti i visceri; b) trazione permanente a peso dello stomaco.

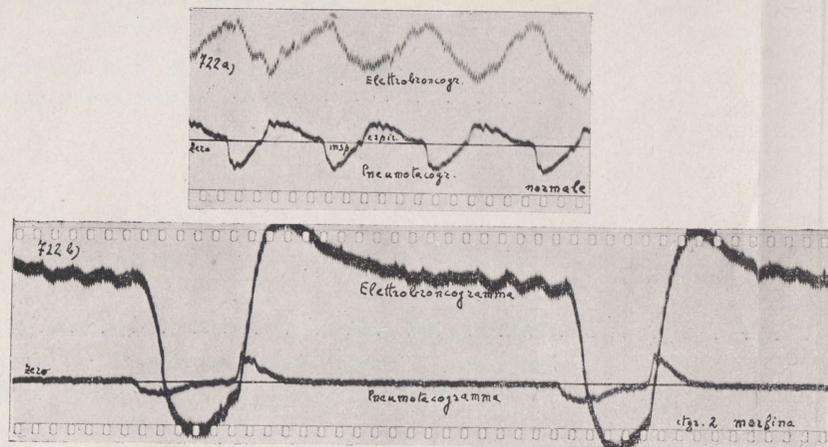


Fig. 16. - Coniglio Kg. 2 senza narcosi - Elettrobroncogramma. Pneumatogramma: a) normale; b) dopo 20 minuti dalla iniezione sottocutanea di ctgr. 2 di cloridr. di morfina. Galv. 0,9; amplificatore; resistenza 3.

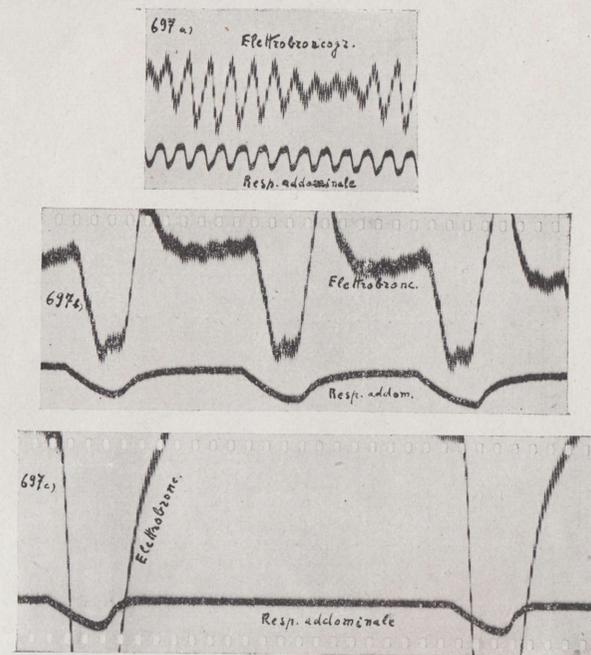


Fig. 17. - Coniglio Kg. 2, sveglio - Elettrobroncogramma e respiro addominale. Galv. 0,8; amplificatore; resistenza 3: a) normale; b) dopo 20 minuti da un clistere di 10 cc. di soluzione 65 % di etere in olio d'oliva; c) dopo 35 minuti.

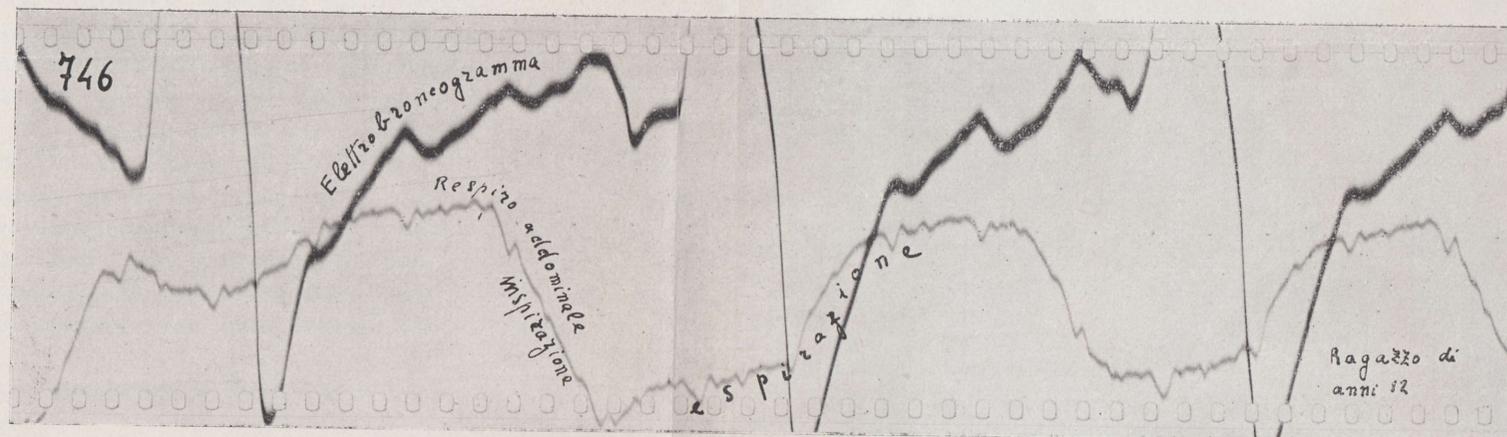


Fig. 18. - Elettrobroncogramma umano. La curva elettrica e quella meccanica sono state registrate su di un soggetto di 12 anni affetto da coxite, normale per quanto riguarda l'apparato respiratorio.