

E 232/40

A VÉRELLÁTÁS HATÁSA AZ IZOM OXYGENFOGYASZTÁSÁRA.

IRTA:

VERZÁR FRIGYES DR.,

EGYETEMI MAGÁNTANÁR.

Különlenyomat a Magyar Orvosi Archivum 1917. évfolyamának
6-ik füzetéből.

EGER.

NYOMATOTT AZ ÉRSEKI LICEUMI KÖNYVNYOMDÁBAN.

1917.

E 232/40

A VÉRELLÁTÁS HATÁSA AZ IZOM OXYGEN- FOGYASZTÁSÁRA. *

Irta: VERZÁR FRIGYES dr., egyetemi magántanár.

Azok a gázcsere vizsgálatok, amelyeket embereken végeztek olyan viszonyok között, amelyeknél a szervezet oxigénnel való ellátása hiányos, arra az eredményre vezették, hogy tág határok közt az oxigénfogyasztás ilyenkor sem csökken. Kitént, hogy ritkított levegőben (magas hegyeken), továbbá keringési zavarokban szenvedőknél és anaemiásoknál az oxigénfogyasztás nem kisebb mint normalis viszonyok között, vagy egészségeseknél. Természetes, hogy ez már nem áll akkor, amikor az oxigénnel való ellátás annyira csökken, hogy végül fulladási halál áll be.

Ez az eredmény sajátos ellentmondásban van avval az általános pathologiai tapasztalattal, hogy az említett esetek mindegyikében az oxigénhiány különböző tünetei észlelhetők, jöllehet ugyanakkor normalis az oxigénfogyasztás. Egyik legfeltűnőbb jelenség az, hogy ritkított levegőben (hegyi betegségénél), keringési zavaroknál és anaemiáknál igen nagyfokú izomgyengeség áll fenn. E betegségek tipikus adynamiaja eddig tökéletesen megmagyarázva nincsen. Az e-

* Vizsgálatok az izom gázcseréjéről. IV. Közlemény.

I. Közlemény: Journal of physiology 1911. 44. 243.

II. Közlemény: Journal of physiology 1912. 45. 39.

III. Közlemény. Ergebnisse der Physiologie 1915. 1—101.

A vizsgálatokat a k. m. t. e. élettani intézetének eszközeivel végeztem a cs. és kir. XVIII. számú bakteriologiai laboratóriumban Debreczenben.



gész testen végzett kísérletek éppen az oxigénfogyasztás csökkenésének kimutatását célozták, ami az oxigénhiány tüneteit megmagyarázta volna. Miután negative végződtek, feltételezték, hogy a tulajdonképeni oxigénhiány csak munkánál áll be, ami azonban e tényekkel nincs összhangzásban.

A végleges magyarázatot csak az izolált egyes szerv vizsgálatából várhatjuk. Az egész szervezeten történt megállapításokból még nem lehet következtetni az egyes szervre. Egyrészt az egyes szervek — mint kimutattam — az oxigénhiány esetében egészen különbözőképen viselkednek. Másrészt a testben a korreláció annyi különböző módja lehetséges, hogy az egész test respirációs gázcserejének vizsgálata eleve nem kecsegtethet reménnyel. Jól mondja erre vonatkozólag *Matthes*¹: »Nachdem was über die Kompensationsvorgänge ausgeführt ist, wird es kaum wundernehmen, wenn die Resultate der quantitativen Stoffwechselprüfungen im allgemeinen negative Ergebnisse gehabt haben.«

Régebbi kísérletekben foglalkoztam az oxigénhiány hatásával az izom gázcserejére olyan viszonyok között, amikor az állat ritkított levegőt lélegzett. A következő vizsgálatok csatlakoznak e régebbiekhez és magyarázatot keresnek a keringési zavarok és az anaemiák kórtanához az izomzat viselkedését illetőleg. Másrészt megakarnak világítani bizonyos methodikai kérdéseket, nevezetesen azt, hogy izom-vérgáz kísérleteknél mennyire kell tekintettel lenni e különböző viszonyokra.

Régebbi kísérleteimből kitűnt, hogy a harántcsikolt izom igen érzékeny a vér oxigéntartalmával szemben, amennyiben ugyanis a vér oxigennyomásának csökkenésével párhuzamosan esik az izom oxigenfogyasztása is. E kísérletek a macska izolált, de az élő állat testében hagyott *M. gastrocnemius*-án történtek. A vér oxigéntartalmát akkor úgy csökkentettem, hogy az állattal oxigenben szegény levegőkeveréket lélegeztettem. Például szolgálhat a következő kísérlet 5 hasonló kísérlet közül.

¹ Noorden Hdb. d. Pathologie des Stoffwechsels I. 841.

Idő	Levegő összetétele	Keringési sebesség	Oxygenfogyasztás pro gm/min.
12 h 15'	Normális levegő (20.89% O ₂)	0.60 cm ³ pro min.	0.0032 mm ³
12 h 28'	9.5% Oxygen tartalmú levegő	0.60 cm ³ pro min.	0.0012 mm ³

E kísérleti eredmény oka nem az volt, hogy az oxygenhiány ezen esetében annyira fogyott az oxygen az arteriás vérben, hogy az időegység alatt az izomnak nyújtott absolut oxygenmennyiség túl kevés lett volna a nyugalmi anyagcsere ellátására. Az ilyen esetre az volna jellemző, hogy a venosus vérben nem marad semmi oxygen. De az általam vizsgált esetekben a venosus vérben még mindig tekintélyes oxygenmennyiségek voltak. Mindamellet az izom ezeket nem fogyasztotta el, hanem kevesebbet fogyasztott mint rendes oxygennyomás mellett.

Ennek a magyarázatául meg kell gondolni (1. a 2. közleményt) azt, hogy miként jut az oxygen a vérből a szövetbe. A hajtóerő ama nyomáskülönbség,¹ amely a vér és a szövetben levő oxygen közt fennáll. Kiemelendő, hogy mindig csak a kapillarisok vérében levő oxygennyomásról lehet szó, ahol az oxgennyomás az arteriás és vénás véré közt kell hogy legyen és ahonnan a vér és a sejtek közötti gázcsere is történik. Ha már most ez a nyomáskülönbség oxygenhiány esetében kisebb lesz azért, hogy az arteriás vér oxygennyomása kisebbedik, akkor kevesebb oxygen is fog behatolhatni az izomba és következésképen kisebbedik a szerv oxygenfogyasztása.

Legyen P a vérben levő oxgennyomás (amit a telítettségéből a dissociációs görbe segítségével lehet kiszámítani) és p a szövetben uralkodó nyomás (az izom esetében ez közel 0), akkor bizonyos idő alatt (P-p), a lesz a szervbe jutó oxgennyomás, ha közben semmiféle változik. Ha már most a vérben a nyomás csökken, úgy hogy P' lesz, tehát P > P', akkor most az időegység alatt (P'-p), a oxgén jut a szervbe.

¹ Természetesen mindig gáznyomásról és nem hydrostatikai nyomásról van szó.

Ez az érték szükségképpen kisebb, mint az előbbi érték, azaz $P - p / a > P' - p / a$.

Ez a kísérletileg megállapított tény, hogy az izom oxigénfogyasztása csökken, ha az arteriás vérben az oxigénnyomás kisebbedik (jöllehet az absolut oxigénmennyiségek a szükséglet fedezésére még elegendők) látszólag ellenkezik Pflügernek ama alapvető törvényével, amely szerint a szervezet oxigénfogyasztása független a kínálattól, különösen pedig független a vérrel nyújtott oxigénmennyiségtől. Ez az ellentét csak látszólagos. Egészen bizonyos, hogy minden nyugvó szervnek bizonyos maximális oxigénszükséglete van, amely felesleg nyújtásával már nem növelhető. Pflüger törvényében a lényeg az, hogy nem lehet többet fűtteni a szervezettel, mint amennyit az optimális viszonyok közt amugy is fűt. Viszont senki sem csodálkozik azon, hogy a szervezetben az oxigénhiány tünetei lépnek fel, ha az oxigénkínálat kevesebb lesz, mint amennyi a rendes szükséglet, ami azonban csak a fulladás súlyos eseteiben következik be. Mielőtt ehhez a véglethez jutunk a szervezet oxigénhiányt szenved már akkor is, ha az oxigén oly alacsony nyomású, hogy a tüdőkön elegendő mértékben nem tud átdiffundálódni. Ezért fullad meg igen nagy magasságban az élő szervezet, jóllehet az oxigén absolut mennyisége ott is nagy. Az izom eseteiben is ez történik. Oxigénhiányt szenved már akkor is, ha a vérben az oxigénnyomása csökken.

Ha eszerint a vér oxigénnyomásának esése csökkenti az izom oxigénfogyasztását, akkor valószínű, hogy más viszonyok közt is hasonlót kell észlelnünk, nevezetesen akkor ha a keringés úgy meglassul, hogy a kapillaris vérben az oxigénnyomás csökken. Ez be fog következni akkor, ha a keringés lassubbodása folytán a kapillaris vérben az arteriás vérrel annyi venosus vér keveredik, hogy a keverék oxigentartalma a normálisnál kisebb. Azt várhatjuk tehát, hogy a keringés lassúbbodásával is csökken az izom oxigénfogyasztása. Valóban már Ludwig, aki először csinált vérgáz és mesterséges átáramoltatási kísérleteket izmokon, észlelte is ezt. Plüger azonban Ludwig eme kísérleteit értéktele-

neknek nyilvánította és valamennyi eredményét kísérleti hibákkal magyarázta, mint látni fogjuk, teljesen jogtalanul.

Pflüger híres kísérleteiben a vérmennyiség nagy részét, akár $\frac{1}{3}$ -át elvonhatta az állattól anélkül, hogy az oxygenfogyasztás csökkent volna. Ezzel bizonyította be, hogy az oxydatiók nem a vérben, hanem a szövetekben történnek és ebben az irányban a kísérletek döntőek is voltak. De nem jelent ez az eredmény semmit, ha azt akarjuk tudni, hogy az egyes szerv hogyan viselkedik, ha a rajta keresztül menő vérmennyiség csökken. A vasomotoronus és a szív alkalmazkodása miatt még igen nagy vérvesztés esetén is állandó maradhat az egyes szervekben időegységként átfolyó vérmennyiség és így az izomzat oxygenfogyasztása se fog csökkenni.

Végül a harmadik eset, amelyben ugyancsak feltehetjük, hogy a kapillaris vérben az oxygen nyomása csökken, az, amikor a vér oxygenfelvevőképessége a total-oxygen-capacitás (a haemoglobin mennyiségének a csökkenése folytán) kisebb lesz, ha tehát a vér hígul. Ha ilyen hígabb arteriás vérben az oxygen nyomása normalis is, a kapillaris vérben, mégis annyi venosus vérrel keveredik, hogy az oxygen százalékos mennyisége és evvel együtt a nyomása a normalis alá süllyed. Ezért is hatolhat be kevesebb az izomba. Ezek szerint abban az esetben is, ha a vér haemoglobin tartalma csökken, várható, hogy az izom oxygenfogyasztása is kisebb lesz és pedig akkor is, ha az izomnak nyújtott absolut oxygenmennyiségek még nagyobbak, mint amennyi a szükséglet fedezésére kellene.

Kísérletek macskákon.

A kísérletek methodikája egyezett az általam régebben leírt módszerrel.

Urethannal és chloroformmal narkotizált macska melegített operációs padra volt kikötve. Izoláltam a M. gastrocnemius-t úgy, hogy kizárólag rajta keresztül folyó vért gyűjtöttem, ami az art. és vena femoralis igen számos ágának a lekötését igényli. A venosus vért a vena saphenan, a femo-

Vérgáz kísérletek macska m. gastrocnemiusán.

Kísérlet száma	Meghatározás száma	Idő	Keringési sebesség cm ³ pro perc	Oxygenfogyasztás mm ³ O ₂ pro perc	Totaloxigen kapacitás mm ³ O ₂	Artériás vér telítettsége % O ₂	Venózus vér telítettsége % O ₂	Vérnyomás mm. Hg.	Jegyzet.
I.	1.	10h 16'	2·50	82·25	—	—	—	75	Állat súlya 2300 gm.
	2.	17'	1·40	30·31	—	—	—	65	Gastrocnemius 27 gm.
	3.	27'	1·76	46·88	—	—	—	60	10 h 10' Hirudin 10 cm ³
	4.	32'	0·55	23·10	—	—	—	60	adrenalinnal
	5.	35'	1·07	43·07	—	—	—	45	22' NaClodat adre- nalinnal 15 cm ³ 30' Hirudin adrena- linnal 10 cm ³
II.	1.	5h 14'	1·71	47·38	205	90	59	64	Állat súlya 2700 gm. Gastrocnemius 22 gm.
	2.	25'	0·40	17·83	220	66	45	36	5 h 7' 10 cm ³ hirudin 12' 10 cm ³ hirudin
III.	1.	4h 48'	5·00	111·5	85·7	98·0	72·0	95	Állat súlya 2600 gm.
	2.	54'	1·40	76·4	115·2	98·1	50·0	65	Gastrocn. súlya 35 gm.
	3.	5h 5'	1·02	68·1	98·3	88·7	22·0	45	4 h 45' 30 cm ³ hirudin 4 h 59' 9 cm ³ hirudin Mesterséges légzés
IV.	1.	5h 24'	1·11	54·4	178	—	—	75	Macska súlya 2950 gm.
	2.	28'	2·86	76·1	143	—	—	105	Gastrocn. » 29 gm.
	3.	31'	1·20	45·4	154	—	—	77	5 h 20' 10 cm ³ hirudin
	4.	36'	3·00	79·9	125	—	—	73	5 h 25' 50 cm ³ NaClodat
	5.	38'	1·11	42·0	118	—	—	61	5 h 33' 42 cm ³ NaClodat
	6.	45'	0·47	29·5	92	—	—	40	8 cm ³ hirudin
V.	1.	11h 40'	0·77	49·67	216	96	55	65	Macska súlya 2500 gm.
	2.	45'	1·43	61·39	155	94	59	68	Gastrocnemius 30 gm.
	3.	51'	0·92	45·08	117	—	—	55	11h 36' 10 cm ³ hirudin
	4.	54'	1·50	30·22	81	73	38	40	43' 50 » NaClodat 49' 5 » hirudin 54' 50 » NaClodat
VI.	1.	4h 46'	1·18	57·1	135·7	95·5	61·4	72	Macska súlya 2800 gm.
	2.	53'	1·40	52·4	114·8	96·1	67·2	70	Gastrocn. » 26 » 4 h 38' 20 cm ³ hirudin
	3.	59'	1·58	44·9	98·3	96·3	66·7	56	53' 20 » NaClodat 55' 10 » hirudin
	4.	5h 3'	2·31	56·4	61·3	—	—	57	5 h 1' 30 » NaClodat 8 » hirudin

ralis mellékágán fogtam fel ércsiptetőt helyezve a vena femoralis centralis végére. Ilyenformán a keringés egy pillanatra sem akadt meg. Kalibrált pipettába folytatva a vért egyuttal a keringési sebességet is megmérhettem. A vérnyomást higanymanometeren a carotison mértem. Arteriás vért a másik carotisból vettem. Infúsiókat pedig a vena iugularisba adtam. Az analysisek a Barcroft féle compensatiós vérgázapparátussal történtek. Hirudint nem tudtam szerezni. Ehelyett piócákból készítettem kivonatot és ezt fecskendeztem be intravenásan. A vérmeghalvadást a kísérlet folyamán így is sikerült megakadályozni. Egy macskára 10 pióca fejéből készült kivonat elegendő. Eleinte csak az oxygenfogyasztást mértem. Később kítűnt, hogy az eredmények értelmezéséhez mindig szükséges a »total oxygen capacitást« (1 cm. vér által felvehető legnagyobb oxygenmennyiség) és az arteriás és vénás vér telítettségét is ismerni.

Az első három kísérletben mértem a keringési sebesség hatását az oxygenfogyasztásra. A keringési sebesség a kísérlet folyamán magától lassubbodik, mert az állatok vérnyomása a folytonos vérvételek és a pióca kivonat hatása nyomán fokozatosan csökken. Három ilyen kísérletet végeztem. (I. II. III.)

I. Kísérlet. A folyton csökkenő vérnyomás miatt a keringési sebesség csökkent. Ezért váltogatva adrenalin injekciókat adtam az állatnak, ami által az átfolyási sebesség nőtt. Az oxygenfogyasztás a legnagyobb az 1. meghatározásnál, amikor a keringés a leggyorsabb, azaz percenként a legtöbb vér megy át az izmon. A 2. meghatározásnál kisebb lett a keringési sebesség és ugyanígy az oxygenfogyasztás is. A 3.-ban mind a kettő nő, a 4.-ben csökkennek. Az 5.-ben nőnek. Kivéve a 2. meghatározást a viszony az, hogy minél nagyobb a percenként átfolyó vérmennyiség, annál nagyobb az oxygenfogyasztás.

A II. kísérletnél már a totaloxygenkapacitást és a vérnek százalékokban kifejezett oxygennel való telítettségét is mértem. Az eredmény az előbbi kísérletével egyező.

Tanulságosabb a III. kísérlet. Itt is lépésről lépésre követhetjük, hogyan csökken párhuzamosan a vérnyomással az

izmon időegységenként átfolyó vérmennyiség és vele párhuzamosan az izom oxygenfogyasztása is. Alacsonyabb oxygenfogyasztás mellett, mint látszik az izom jobban használja ki a vért, (kisebb lesz a venosus vér oxygennel való telítettsége), de mindamellett még a harmadik kísérletben is sok oxygen van a venosus vérben, úgy hogy abban az izom még elhasználhatott volna. A totaloxygenkapacitásban észlelhető differenciák arra vezetendők vissza, hogy a pióca extractum injectiója (30 ccm. physiologikus NaCl-oldatban) felhigítja a vért, ami idővel újra kiegyenlítődik. ¹

A három kísérletből tehát egybehangzólag az tűnik ki, hogy időegységenként az izmon átfolyó vérmennyiség csökkenésével, az izom oxygenfogyasztása is kisebbedik, jöllehet a venosus vérben még bőven marad oxygen.

A következő sorozat (IV. V. VI. kísérlet) már most annak az eldöntésére szolgált, hogy a vér hígulásával együtt szintén csökken-e az izom oxygenfogyasztása. Folytonos konyhasós infúziókkal állandóan hígítottam a vért, amiről a totaloxygen kapacitás (egy cm.³ vér által felvehető összes oxygen mennyiség, mérve a Haldane-féle ferricyankaliumos módszerrel) állandó esése tanuskodik. A totaloxygenkapacitás mérése ugyanazt mutatja, mint amit a haemoglobin mennyiségének meghatározása jelentene. E kísérletek nagyon komplikálódnak az által, hogy a vérvételekkel és az infúziókkal együtt a vérnyomás is nagyon ingadozik, úgy hogy a keringési sebesség változása, amelyeknek az előbbi sorozat szerint szintén hatása van, befolyásolja ezeket a kísérleteket is. Az eredmények ezért csak megfelelő megfontolásokkal értelmezhetők.

Lássuk először az V. kísérletet. A total oxygen kapacitás a kísérlet folyamán 216-ról 81-re száll le, a vér tehát több mint a duplájára hígul. Az első meghatározásnál lassu a keringés. A másodiknál gyorsabb. A harmadiknál ujra lassúbb és ennek megfelelőleg az oxygenfogyasztás is csökkent. De jöllehet a keringés nem oly lassu, mint az 1. meghatározásnál, az oxygenfogyasztás

¹ A második meghatározás eme értéke talán kísérleti hiba folytán túl magas.

mégis kisebb mint abban. Ez az ellentmondás megszűnik, ha a total-oxygen-capacitást nézzük. Ez most már erősen, az 1. kísérlethez képest felére csökkent. Ugyanezt mutatja a 2. és 4. meghatározások összehasonlítása is. Itt a keringési sebesség majdnem egyenlő, mégis az oxygenfogyasztás felére csökkent, de felére csökkent a vér koncentrációja is. Az izom oxygenfogyasztását tehát befolyásolta egyrészt a keringési sebesség, másrészt a vér koncentrációja. Az ok világosnak látszik már abból is, amit a bevezetésben mondtam. A kapillarisok vérében az oxygennyomás a normalishoz képest szükségképpen csökken akkor, ha a keringési sebesség kisebbedik, de másrészt akkor is, ha a vér higul (a totaloxygenkapacitás csökken). Mindkét esetben az oxyhaemoglobin relativ mennyisége a kapillaris vérben kisebb lesz, azaz csökken az oxygen partialis nyomása, emiatt csökken az oxygennyomás differentia a vér és szövet között és következésképp kisebbedik a szövetbe az időegység alatt diffundáló oxygenmennyiség is. Ha mind a két faktor (keringés és vérkoncentráció) változik, természetesen hatásuk összegeződik. Innen magyarázható esetünkben az, hogy amikor a vér már felhigult még gyors keringés mellett is csekélyebb az oxygenfogyasztás (1. és 3. meghatározás összehasonlítása).

Teljesen ugyanezt mutatja a IV. kísérlet is. Mennél lassabb a keringés, annál kisebb az oxygenfogyasztás. Legnagyobb a 2. és a 4. meghatározásban. Egy perc alatt folyik itt át az izmon 2.86 ill. 3.00 cm.³ vér és a megfelelő O₂ fogyasztás 76.1 ill. 79.9 mm.³

Középnagy keringési sebesség az 1., 3., 5. meghatározásban. 1.11, 1.20, és 1.11 cm.³ A megfelelő oxygenfogyasztás pedig 54.4, 45.4, 42.0 mm.³

Legkisebb a keringési sebesség a 6. meghatározásban, csak 0.47 cm.³ és az oxygenfogyasztás csak 29.5 mm.³

Ha azonban azt kérjük, hogy az 1. 3. és 5. meghatározásban azonos keringési sebesség mellett, miért fogyaszt különböző oxygenmennyiségeket az izom, akkor megkapjuk a választ a vér koncentrációjának a megállapításából. A total oxygenkapacitás itt folyton süllyed, a megfelelő értékek 178,

154, és 118. Eszerint a vér hígulása a folytonos konyhasós infúsiók miatt, csökkenti az oxygenfogyasztást. A 6. meghatározás erős csökkenése vegyesen irandó a keringési sebesség és a total oxygenkapacitás esésének rovására.

Nagyon érdekes végül a VI. kísérlet. Itt korrelációs berendezések kitünő működése folytán, egyrészt a szív, másrészt a vasomotor tonus alkalmazkodása miatt, a vér hígulásával együtt mindig gyorsabb lesz a keringés, ami természetesen elensúlyozza azt a hatást, amit a vérhígulás önmagában gyakorolna. A keringés gyorsabbodása eleinte még nem akkora, hogy kompenzálni tudná az oxygenfogyasztásnak a total oxygenkapacitás sülyedése által okozott csökkenését. Ez látszik az 1. 2. és 3. meghatározásból. Végre a 4-ik meghatározás idején a kompenzáció oly tökéletes, hogy most már felére hígult vér mellett is annyi az oxygenfogyasztás, mint a kísérlet kezdetén, azonban itt a keringési sebesség kétszerese annak, ami a kísérlet elején volt. Ez a kísérlet világot vet arra, hogy mikép kompenzálja a szervezet az anaemia okozta zavarokat. De a kompenzáció kiváltásához először az kell, hogy a szerv oxygenhiányt szenvedjen.

Látszik ebből az, hogy a keringési sebesség és a vérkoncentráció tekintetbe vételével az a látszólag egészen absurd dolog, hogy ugyanaz a nyugvó izom különböző meghatározásoknál, mindig más oxygenfogyasztást mutat, tökéletesen érthetővé válik.

De másrészt figyelmeztet ez arra is, hogy mennyire kell vigyázni minden vérgáz kísérletnél arra, hogy csakis teljesen azonos viszonyok között nyert értékeket hasonlítsunk össze egymással.

Melegvérűeknél ép azért az ilyen kísérletek nagyon komplikáltak. Ezért kerestem módot arra nézve, hogyan lehetne egyszerűbb viszonyok közt dolgozni. Mindenek előtt a vérhígulás ill. az alvadás okozta nehézségeket akarván kiküszöbölni, a következő kísérleteket végeztem.

Vérgázanalízisek béka hátulso végtagjain.

A Laewen-Trendelenburg által adrenalin meghatározásokhoz használt praeparatumot használtam e célra: Egy békát lefejezünk. Gerincagyát elpusztítjuk. A hasüri szerveket kivesszük és egyrészt a hasi aortába, másrészt a v. abdominalis inferiorba (amely itt a v. cava inferiort helyettesíti) egyegy kanült vezetünk be. Nehány mellékág lekötése után az aortán injiciált folyadékot a vénán hiánytalanul nyerjük vissza. Ez a praeparatum nagyon alkalmasnak látszott vérgáz analitikai vizsgálatokra. Sajnos nem lehet annyi mindenre használni, mint ahogy kívánatos lenne és pedig azért nem, mert természetesen az átáramoltatáshoz megfelelő mennyiségben nem áll rendelkezésre békavér. Ehelyett defibrinált marhavért használtam. Az ilyen vér vasoconstrictiót okoz az idő folyamán úgy, hogy mindig nagyobb és nagyobb nyomás mellett kell átfolytatni a vért. Ugyanazt különben már physiologikus NaCl oldat vagy Ringer oldat használata mellett is tapasztalta mindenki, aki ilyen praeparatumon dolgozott. Idegen vért átáramoltatáshoz már Frey¹ és Rubner² is használt. Természetesen az így nyert eredmény kritikára szorul, az általam vizsgálandó kérdéshez azonban alkalmas volt.

Baglioni azt állította, hogy az idegen vér ama kellemetlen hatását, hogy vasoconstrictiót okoz, meglehetősen szüntetni úgy, hogy egy órára 56° C-on tartjuk. Mint a X. kísérlet mutatja ezt nem tudtam beigazolni és így sem sikerült ezt a zavaró hatást kiküszöbölni.

Még egy methodikai fogásra volt szükség, hogy e kísérletek sikerüljenek. Az átáramoltatás állandó nyomás mellett egy magasabbra helyezett Davy palackból történt. Közöséges vért használva az aránylag lassu áramlásnál a hosszú és magas levezető csőben leülepednek a vörösvérsejtek és ilyenkor egyrészt az átáramló vér sűrűsége változik állandóan, másrészt a sűrű véresejttömeg el is dugaszolhatja a bé-

¹ Arch. f. physiol. 1883. 533.

² U. o. 1885. 38.

ka kapillarisait. Ezért úgy jártam el, hogy a vért egyenlő mennyiségű destillált vízzel kevertem. Ezáltal haemolysis állott be. Most annyi só-t tettem hozzá, amennyi a destillált vízben lett volna, ha az Ringer oldat lett volna.. Így kaptam egy a Ringeroldat koncentrációjának megfelelő haemoglobin oldatot, amely miután vérsejtek már nem voltak benne, nem is ülepedett: állandó koncentrációja volt. Ezt levegővel ráztam és ilyen »oxyhaemoglobin oldatot« folyattam át a praeparatumon.

A kísérletek már most a következőképen folytak le: A kanülöket az aortába és venába kötve a békát fixáltam, az aorta kanült pedig a átáramoltató folyadékkal, a Davy palackal kötöttem össze. Mielőtt a vér az aortába lépett egy T csövön folyt át, ahonnan mindig próba volt vehető összetételének megállapítása végett. Amint az átáramoltatás megkezdődött a vena kanülön először a béka ereiben levő vér távozott, majd a vér-haemoglobin-Ringeroldat következett, amely feltűnően sötétebb volt mint az aortába ömlő oldat, jeléül annak, hogy a lábak belőle oxygent vontak el. Nem kellett most már mást tenni, mint a venákanülbe egy kalibrált 1 cm.³-es pipettát tenni és másodperc órával mérni, hogy mennyi idő alatt folyik át 1 cm³. Ezt az 1 cm³ vért most a Barcroft féle vérgázapparátusba hoztam és a szokott módon megmértem az oxygenfelvételt, majd pedig kiszámítottam ebből és a keringési sebességből az időegység alatt fogyasztott oxygen mennyiségét. Lehet csak egy végtagon is átáramoltatni, úgy hogy az egyik art. iliaca-ra ércsüptetőt helyezünk és azt váltogathatjuk is. Ilyen a XI. kísérlet. E methodikát eredetileg azért dolgoztam ki, hogy a béka izmainak meghatározott munkája és a gázcseréjük közti viszonyt mérjem. Ez irányu kihasználása azonban eddig még nem volt lehetséges. Az átfolyatás percről percre lassabb lesz. Egy idő múlva a nyomást a Davy palack magasabbra való elhelyezése által emelnünk kell, hogy megfelelő átfolyást kapjunk. Hamarosan (kb. 1 óra alatt) elérünk egy határhoz, amikor bárhogy emeljük a nyomást, mégis csak mindig kevesebb és kevesebb vér folyik át. Végre percenként már csak 1-2 csepp. Igen nagy

nyomás mellett a fellépő oedemák gátat vetnek a további kísérletezésnek.

A békakísérletekben tehát állandó összetételű haemoglobin oldat folyt keresztül teljesen nyugalomban levő tonus-talan békavégtagokon, fokozatosan lassabb keringés mellett. Mint az eredményekből világosan látszik, itt is annál kisebb az oxygenfogyasztás, mennél lassabb a keringés, ami teljes összhangzásban van a fenti macskakísérletekkel.

Vegyük pld. a VIII. kísérletet. Egy cm^3 átfolyt 30, 39 és 55 sec. alatt. A megfelelő oxygenfogyasztás volt 108.5, 64.5, 36.0 $\text{mm}^3 \text{O}_2$ percenkint. Most a nyomást emeltem; az átfolyási sebesség nőtt; 27, 36, ill. 42 sec lett, az O_2 fogyasztás pedig 135.0, 108.0, 91.0 mm^3 .

Általánosságban egészen fennáll az a szabály, de nem annyira, hogy ugyanazon sebesség mellett mindig pontosan ugyanannyi lenne az oxygenfogyasztás. Ezen azonban ilyen minutiosus kísérleteknél ahol esetleg 5—10%-ra tehető a kísérleti hiba, nem csodálkozhatunk. A XI. kísérlet 3. és 5. analizisében két különböző láb oxygenfogyasztása egyenlő keringési sebesség mellett is egyenlő.

Eredmények.

Kísérleteim tehát a következő eredményhez vezettek:

1). Ugy a macskakísérleteknél, amelyek a testben physiologiás viszonyok között vizsgált m. gastrocnemiuson történtek, mint a békakísérletekben mesterséges átáramoltatással, kitűnt, hogy az izom oxygenfogyasztása csökken, ha a keringési sebesség csökken, és pedig már akkor is, ha a venosus vér még oxyhaemoglobinnal bőven el van látva.

2). Macskakísérletekkel (normalis gastrocnemiuson) pedig ki lehetett mutatni azt is, hogy az izom oxygenfogyasztása csökken, ha a vér haemoglobin tartalma kisebb lesz, azaz a vér meghigul.

Mindkét eredmény teljesen megfelel annak amit oxygenben szegény vér átáramoltatásával már régebben kimutattam. Az izom oxygenfogyasztása itt kisebb lett, ha a vér oxygennyomása csökkent.

Vérgáz kísérletek béka hátsó végtagjain.

Kísérlet száma	Meghatározás száma	Idő	Átfolyási sebesség 1 cm ³ second alatt	Oxygen fogyasztás mm ³ O ₂ pro perc	Átáramoltatási nyomás	Jegyzet.
VII.	1.	4 h 57'	48	46	300	
	2.	5 h 3'	40	67·5	»	
	3.	11'	49	38·6	430	
	4.	22'	155	7·7	670	
	5.	39'	80	15·3	1050	
	6.	48'	78	34	»	
	7.	6 h 12'	526	2·4	»	
VIII.	1.	6 h 49'	30	108·5	—	
	2.	53'	39	64·5	—	
	3.	55'	55	36·0	—	
	4.	7 h 1'	27	135·0	—	nyomás nagyobbítva lett
	5.	6'	36	108·0	—	
	6.	11'	42	91·0	—	
IX.	1.	5 h 29'	117	16·9	240	
	2.	34'	32	69	370	
	3.	36'	35	67	»	
	4.	49'	55	35	600	
	5.	57'	78	21·5	»	
	6.	6 h 01'	120	9·5	»	
X.	1.	5 h 27'	36	18·7	370	inaktivált vér
	2.	32'	63	16·1	»	
	3.	35'	70	11·6	»	
	4.	40'	103	6·1	»	
	5.	51'	88	5·8	640	
	6.	55'	80	7·1	»	
	7.	59'	90	5·4	»	
XI.	1.	6 h 6'	15	81·6	270	bal láb
	2.	11'	21	74·2	»	»
	3.	16'	47	29·9*	»	»
	4.	26'	39	17·6	550	jobb láb
	5.	34'	46	26·5*	650	» *Összehasonlítható értékek
	6.	40'	105	8·3	800	jobb láb
	7.	46'	132	9·2	»	»

A fentiekben mindig keringési sebességről beszéltem. Ez a kifejezés nem egészen helyes. Kísérletileg csak az egész izmon átfolyó vérmennyiséget határozhatjuk meg bizonyos idő alatt. Ha ez nagyobb, akkor a keringési sebesség látszólag nagyobb, és fordítva. Lehetséges azonban az is hogy alacsonyabb vérnyomás mellett csak azért folyik ki kevesebb vér az erekből, mert kevesebb kapillaris telik meg. Így az átfolyó vérmennyiség csökkenése nem mutatna feltétlenül arra, hogy a keringési sebesség is csökkent. Ezt a kifogást már Pflüger hozta fel Ludwig-gal szemben. Véglegesen csak akkor dönthetném ezt el, ha alkalmam lenne plethysmographikus kísérletekkel kiegészíteni e vizsgálatokat. Lehetséges, hogy igen alacsony vérnyomásnál ez a faktor is szerepel. Tekintettel azonban arra, hogy az oxygenhiány, a vérhigulás és a vérnyomás csökkenés egészen egy irányban hat, nem tartom ezt az ellenvetést nagyon valószínűnek. A kísérleti eredményen és a következtetéseken azonban az se változtat, ha keringési sebesség helyett mindenütt csak »az időegység alatt az izmon átfolyó vérmennyiségről« beszélünk.

Ezek az eredmények tehát megfelelnek annak, amit várni lehetett azokból az általános következtetésekből, amelyekről a bevezetésben szó volt, úgy hogy most már egész általánosságban kimondhatjuk azt a tételt, hogy: az izom oxygenfelvétele csökken, ha a kapillaris vérben az oxygen nyomása kisebb lesz, függetlenül attól, hogy az absolut oxygenmennyiség elegendő-e vagy nem, tehát akkor is ha a venosus vér még sok oxyhaemoglobint tartalmaz.

A kapillarisokban az oxygennyomás csökkenhet azért, hogy

a) az arteriás vérben csökken az oxygentartalom (ritkított levegő légzése, hegyi betegség, légzés gátlásánál, asphyxia, tüdővérkeringés lassubbodása).

b) a nagy vérköri keringés lassubbodása által (vérnyomás csökkenése folytán.)

c) a vér nagyfoku higulásánál (anaemia).

Az oxygenfelvétel csökkenésének magyarázata tisztán physikai. Miután a kapillaris vér oxygennyomása és az izom-

rostban levő oxgyennyomás közötti differentia kisebb lesz, az időegység alatt diffundáló oxygen is kevesebb lesz. Ez természetesen csak azokra az esetekre vonatkozik, amikor a szervezet az egyik vagy másik hatást nem kompenzálja.¹

A következtetések, amelyeket ebből levonhatunk a dolgozat elején kitűzött kettős célnak megfelelőleg egyrészt a vérgáz analysis technikájára vonatkoznak, másrészt a pathologia megfelelő eseteire.

I. A vérgazanalitikai kísérletek szempontjából fontos tudni azt, hogy ahhoz, hogy összehasonlítható értékeket kapjunk, szigoruan ügyelni kell arra, hogy egyenlő körülmények között vizsgáljuk az izmot, egyenlő telítettségű vér, egyenlő keringési sebesség és egyenlő vérsűrűség, ill. haemoglobin tartalom mellett. Különösen fontos ezt tudni, ha a kísérletek hosszabb időre terjeszkednek ki.

II. A következtetések, amelyek a kórtan ama eseteire vonhatók, a melyekben az izomban levő kapillaris-oxygennyomás csökken, a következők lehetnek. Érthetővé válik, hogy miért olyan rendkívül érzékeny az izomzat minden olyan befolyással szemben, amely oxygennel való ellátását csökkenti. Igen nagyfoku izomgyengeséget észlelünk ritkított levegőben, keringési zavaroknál, anaemiáknál. Ezt az izomgyengeséget és az oxygenhiány általános tüneteit, amelyeket ezekben az esetekben már nyugalomban is észlelünk (szapora légzés és pulzus, vérsavanyodása stb.) nem lehet csak arra visszavezetni, hogy a munkánál erősen fokozódó oxygenszükséglet ellátására hiányzik a kellő fedezet. Kétségtelen, hogy az oxygenhiány tünetei már nyugalomban is meg vannak. Pedig az egész testen végzett respirációs kísérletek éppen azt mutatják, hogy a kóros esetekben az oxygenfogyasztás nem csökkent. E látszólagos ellentét magyarázata az, hogy a szervezet korrelációs berendezéseket alkalmaz, amelyekkel olyan viszonyokat tud teremteni, hogy a kapillaris

¹ Az ilyen acut kísérletekkel szemben más a várható eredmény chronikus oxygenhiánynál, amikor régebbi periodusok oxygenhiányának a pótlásáról van szó. Erről egy későbbi dolgozatomban lesz szó.

oxygennyomás állandó marad és ezért az oxygenfogyasztás sem csökken. De éppen a korrelatiók kiváltása bizonyítja, hogy fennáll az oxygenhiány. A tejsav, ill. a vér fokozott H-ion koncentrációja, amely az újabb felfogások szerint a légzés szaporodását stb. kiváltja, már az izom oxygenhiányának szülöttje. Így egy circulus vitiosus keletkezik, amelyben a normalistól való legkisebb eltérés már olyan zavarokat okoz, amelyek a maguk részéről korrelatiós berendezéseket váltanak ki (példa erre a VI. kísérlet). Ilyen korrelatiós berendezés akkor ha az arteriás vérben az oxygennyomása csökken, vagy ha a vér hígul, a keringés gyorsabbodása az izomban a szív munka növekedése vagy a peripheriás edénytonus változása által. Centralis keringési zavaroknál ugyancsak a peripheriás edénytonus változása módosíthatja úgy a viszonyokat, hogy azok a normalisokhoz közelednek. Tudjuk, hogy ezek a korrelatiók azonban csak ideig óráig működnek.

Amíg tehát — és ez a lényeg — az egész testen végzett vizsgálatok nem tudták megmagyarázni az oxygenhiány tüneteit az említett esetekben, addig az izolált izmon végzett vizsgálatok tökéletesen megmagyarázzák, hogy miért olyan érzékeny az izom az oxygenhiány minden esetével szemben. Az izom oxygenfelvétele mindig kisebb lesz, valahányszor a kapillaris vérben az oxygennyomás csökken. Az így okozott oxygenhiány termékei correlatiós berendezéseket váltanak ki és ezek okozzák azt, hogy az egész test oxygenfogyasztása az említett betegségekben sem csökken.

1409-1967