

人眼硝子体腔酸素分圧測定 (図1, 表1)

坂上 欧・塚原 陽子・根木 昭 (京都大学眼科学教室)
 荻野 誠周・本田 孔士

Measurement of Oxygen Tension in the Human Vitreous Space

H. Sakaue, Y. Tsukahare, A. Negi, N. Ogino
 and H. Honda

Dept. of Ophthalmology, Kyoto Univ. Kyoto, Japan

要 約

人眼硝子体手術中に、ポーラログラフィーを利用した酸素電極を使用し硝子体腔内に於ける酸素分圧 (Pvit O₂) を測定した。酸素電極は直径100μmの白金電極を使用し、3port systemの毛様体扁平部より電極を挿入し、手術顕微鏡下に操作した。Room air呼吸時、Pvit O₂はそれぞれ前部周辺部硝子体16.6±4.1 mmHg、中心部硝子体16.3±3.4mmHg、乳頭直上部硝子体19.9±4.8mmHg、剝離網膜表面の酸素分圧は30.3±4.8mmHgであり家兎や猫などの動物実験の値とほぼ一致していた。網膜冷凍凝固術を受けた症例の網膜瘢痕部は100%酸素吸入後は160mmHgと高値を示し酸素透過性の亢進が認められた。無水晶体眼再手術例の中心部硝子体酸素分圧では有水晶体初回手術例とほぼ同様の値を示し、硝子体置換はPvit O₂に影響を与えない事が確認された。(日眼 91: 977-981, 1987)

キーワード：酸素分圧, 硝子体, 網膜, 人眼, 網膜冷凍凝固

Abstract

The oxygen tension of the vitreous humor and retina have already been reported in animals, but no such report concerning human eyes has been made. We measured them during vitreous surgery using a polarographic oxygen electrode in 10 cases. A platinum electrode with a tip diameter of 100μm was advanced from the scleral slit of the pars plana vitreous port under an operating microscope. The oxygen tensions were 16.6±4.1mmHg (n=9) in the anterior peripheral vitreous space, 16.3±3.4mmHg (n=9) in the central vitreous space, and 19.9±4.8mmHg (n=8) in the posterior vitreous space anterior to the disc. The oxygen tensions of detached retinas were 30.0±4.8mmHg (n=5), and increased to 35.0mmHg on inhalation of 100% oxygen (2L/min.). After oxygen inhalation, the oxygen tension in the subretinal space also increased from 22.5mmHg to 66mmHg, and that on the retinal scar by cryoretinopexy rose remarkably to 160mmHg compared with that in front of the intact retinal surface. Observations showed that oxygen tensions in the vitreous space of the human eye are basically similar to experimental findings in animals. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91: 977-981, 1987)

Key words: Oxygen tension, Vitreous space, Retina, Human eye, Cryoretinopexy

別刷請求先：〒606 京都市左京区聖護院川原町53 京都大学医学部眼科学教室 坂上 欧

Reprint requests to: Hiroshi Sakaue, M.D. Dept. of Ophthalmol., Faculty of Med., Kyoto Univ.
 53 Shogoin kawahara-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan

(昭和62年3月23日受付)(Accepted March 23, 1987)

I 緒 言

硝子体は元来99%以上が水分で構成され酸素が溶存しており、網膜あるいは脈絡膜血管からの供給を受けている。家兎や猫等の動物眼での硝子体腔内酸素分圧の報告は既にされているが^{1)~5)}、人眼では未だその報告はない。近年硝子体手術の普及により、硝子体腔に積極的な操作が及ぶようになったが、神経網膜に直接接する広大な腔の環境変化が網膜のみならず前眼部にも、どのような影響を及ぼすのかは不明な点が多い。従来、我々は硝子体腔の物理的、化学的因子の変化が視機能に及ぼす影響を観察してきたが⁶⁾、今回は酸素分圧に焦点を当てて検討した。硝子体手術中に、ポラログラフィーを利用した生体内酸素分圧連続測定装置を使用し前部周辺部硝子体、中心部硝子体、乳頭直上部硝子体、剝離網膜表面の酸素分圧を測定した。さらに鼻腔チューブにより100%酸素を吸入させ、裂孔下網膜下腔、剝離網膜表面、硝子体の酸素分圧変化も測定することにより、網膜循環、脈絡膜循環の影響も検討した。その他、各症例で興味ある所見が得られたのでここに報告する。

II 実験方法

酸素分圧測定には三菱レイヨン社製生体内酸素分圧連続測定装置(PO-2080)を使用し、酸素電極には外径100 μ mの白金電極で先端部を酸素透過性のポリウレ

タン膜で被覆されたPO₂センサーを用いた。電極はEOGガス消毒を行い、外筒に歯科用25G注射針を用いて操作した。不関電極としては銀塩化銀皿状電極を前額部に固定し、温度センサーを胸部に固定することにより実測体温で温度補正を行った。測定値はデジタル表示と共に、内臓レコーダーで同時記録された。デジタル表示値が30秒間一定したときの値を測定値とした。滅菌性保持のため術前の各電極毎の校正は行わず、各電極に表示された定格値をそのまま使用した。定格値をそのまま使用した場合、37C、生理食塩水中における誤差は5%以内であり、室素ガス吹き込み下では0~2mmHgを示した。対象は京都大学附属病院で行われた硝子体手術10例で有水晶体眼初回硝子体手術9例(増殖性硝子体網膜症を伴う網膜剝離5例、硝子体出血を伴う増殖性糖尿病性網膜症2例、硝子体出血と網膜剝離を伴う眼内鉄片異物1例、高度近視にて網膜剝離を伴う黄斑円孔1例)、無水晶体眼再硝子体手術1例(増殖性硝子体網膜症を伴う網膜剝離)であった。

測定は全例局所麻酔下で、3 port systemによるclosed vitrectomyの硝子体操作前に行われた。酸素電極を毛様体扁平部強膜創より挿入し顕微鏡直視下にて操作し、測定部位は前部周辺部硝子体部としては毛様体扁平部より約3mm挿入した位置、中心部硝子体部としては水晶体後面と乳頭との中間の位置、乳頭直上部硝子体部は乳頭上約2mmの位置、そして剝離網膜表面には網膜表面にできるだけ近接した位置で行い、室温

表1 人眼硝子体腔酸素分圧

REGION PATIENT No.	anterior peripheral vitreous	central vitreous	posterior vitreous in front of the disk	detached retina	detached retina (oxygen)	detached macula	subretinal space	subretinal space (oxygen)	retinal pigment epithelium
1	9	10	25						
2	18	18	19	28					
3	23	18	26	31	41	16			
4	20	22	24	32	37		23	70	
5	17	14	18	23	27	13	22	62	
6	16	15	12			17			
7	12	16		36					65
8	16	15	17						
9	18	19	18						
MEAN	16.6	16.3	19.9	30.0	35.0	15.3	22.5	66	65
SD	4.1	3.4	4.8	4.8					
	(n=9)	(n=9)	(n=8)	(n=5)					
10		20							

(mmHg)

S-MA₂灌流開始前に測定した。又、術直前に動脈血を採血し、PaO₂を測定した。一部の症例では鼻腔チューブにより100%酸素を毎分2Lで吸入させ約5分後の酸素分圧上昇も測定した。

III 結 果

症例1～9は有水晶体眼初回硝子体手術例で、硝子体腔内酸素分圧(Pvit O₂)の各部位の測定値、平均値、標準偏差を表1に示す。Pvit O₂は前部周辺硝子体で16.6±4.1mmHg (n=9)、中心部硝子体で16.3±3.4mmHg (n=9)、乳頭直上部硝子体は19.9±4.8mmHg (n=8)であり、乳頭直上部硝子体がやや高値を示した。症例10は無水晶体眼再硝子体手術例であるが、中心部硝子体のPvit O₂は20mmHgであった。剝離網膜表面の酸素分圧は30.0±4.8mmHg (n=5)で、100%酸素吸入5分後、各症例でばらつきがあるものの平均35.0mmHgと約22%の上昇傾向を示した。剝離黄斑部表面を測定できた3症例では16、13、17mmHg(平均15.3mmHg)と何れも他の網膜部位より著しく低かつ

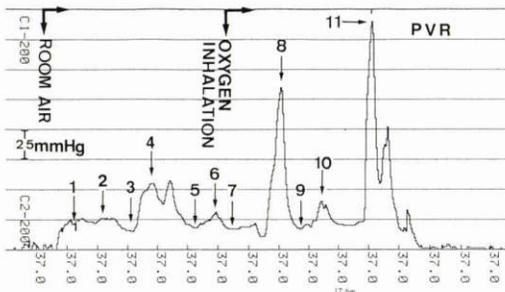
た。網膜裂孔を通し、網膜下腔の測定ができた2症例では23、22mmHgと乳頭直上部硝子体より若干高い値を示したが、酸素吸入後は平均66mmHgに上昇した。網膜全剝離で網膜色素上皮表面に近接した位置で測定ができた1例では、65mmHgであった。

症例3を図1に示す。右眼網膜剝離の再発でPVR(D-1)を起し硝子体手術が施行された。剝離黄斑部表面(矢印3)は16mmHgで、剝離網膜血管直上部(矢印4)は58mmHgで、剝離網膜無血管部表面(矢印5)は31mmHgであった。酸素吸入後では同じ剝離網膜血管直上部(矢印8)は138mmHgと上昇したが、中心部硝子体(矢印9)は18mmHgと変わらなかった。剝離網膜無血管部表面(矢印9)では41mmHgと上昇し、又、網膜冷凍凝固術による網脈絡膜萎縮痕部表面(矢印11)は160mmHgと著しく高値を示した。動脈血PaO₂は92.1±6.7mmHg (n=9)とばらつきは少ない。

尚、本研究において手術時間の若干の延長はあったが、硝子体腔内酸素分圧測定操作による合併症は全く認めなかった。

IV 考 按

我々の知る限りでは未だ人眼での硝子体腔内酸素分圧の報告はない。動物眼では、猫眼で、Alderら¹⁾は internal limiting membrane が20.2±2.3mmHg, inner retina が24.6±2.3mmHg, choroid が72±1mmHgと報告し、Linsenmeierら²⁾は硝子体腔内は15～20mmHgと報告し、Stefanssonら³⁾は糖尿病猫で、retina が17±7mmHgと述べている。又、家兎眼では宮沢⁴⁾は前部硝子体が21.7±3.4mmHg, 赤道部硝子体が20.6±2.9mmHg, 後部硝子体が21.5±3.2mmHgと報告し、Jacobiら⁵⁾は equatorial region が7～16mmHg, posterior vitreous in front of the optic disk が17～33mmHgと述べている。我々の人眼での研究では、前部周辺部硝子体が16.6±4.1mmHg, 中心部硝子体が16.3±3.4mmHg, 乳頭直上部硝子体が19.9±4.8mmHgと、今までの動物眼での報告とほぼ一致していた。症例10は硝子体再手術例であるが、灌流液で置換された中心部硝子体酸素分圧は初回硝子体手術例と有意な差は認められなかった。もちろん正常眼におけるPvit O₂は不明であるが網膜剝離、増殖性硝子体網膜症、硝子体出血、硝子体置換等の硝子体環境が種々異なる10例でほぼ同様のPvit O₂が得られたことはこれらがPvit O₂に著明な影響を及ぼす因子とは考えにくい。硝子体内は細胞成分が少なく水晶体による消費を



	REGION	OXYGEN TENSION (mmHg)
1	↓ ROOM AIR anterior peripheral vitreous	23
2	↓ ROOM AIR posterior vitreous in front of the optic disc	26
3	↓ ROOM AIR detached macula	16
4	↓ ROOM AIR retinal blood vessel	58
5	↓ ROOM AIR central vitreous	19
6	↓ ROOM AIR detached retina	31
7	↓ OXYGEN INHALATION central vitreous	18
8	↓ OXYGEN INHALATION retinal blood vessel	138
9	↓ OXYGEN INHALATION central vitreous	18
10	↓ OXYGEN INHALATION detached retina	41
11	↓ OXYGEN INHALATION scar by cryoretinopexy	160

図1 人眼硝子体腔酸素分圧測定の一例。数字は硝子体腔の各部位を示している。網膜冷凍凝固術による網脈絡膜萎縮痕部(矢印11)は100%酸素吸入時には160mmHgと著しく上昇している。

除き硝子体自身の酸素消費はほとんどないことによると考えられる。我々は oxygen supply に関してはイオンと同様、硝子体を sink と考え、網脈絡膜血管から供給され網膜で消費された酸素を溶存し保持する機能を有すると考える。本田ら⁷⁾は、脈絡膜から分離した摘出網膜の機能維持に灌流槽内酸素吹き込みが不可欠であるとし、網膜表面の酸素分圧維持の必要性を述べている。最近 Juan ら⁸⁾は猫眼で vitrectomy, lensectomy 施行後で代用硝子体としてシリコンオイルを使用し、硝子体を酸素の diffusion/convection barrier とする事により前房から硝子体への bulk flow が減少し、前房内の酸素分圧が上昇し rubeosis を抑制できるとし、臨床上、糖尿病性網膜症の硝子体手術後の neovascular glaucoma への進行を防止できると報告している。しかしシリコンオイルは酸素透過性を有しており果して diffusion/convection barrier としてどの程度働いているのかは不明である。今回酸素吸入後に網膜下腔や剝離網膜表面の酸素分圧が上昇したが、硝子体の酸素分圧が認められなかったのは鼻腔チューブであり吸入量が少ないことや、酸素が硝子体への拡散移行するのに時間を要する為と考える。家兎眼に於て、気管切開にて挿管し100%酸素を人工呼吸させたときの股動脈と中心部硝子体の酸素分圧の同時記録⁹⁾で、動脈血中の PaO₂は換気直後から上昇し平衡に達するが、中心部硝子体の平衡には約12分の time lag が認められている。今回酸素吸入時に酸素分圧は剝離網膜表面では5mmHgの上昇であったが、網膜下腔では43.5mmHgも上昇したのは脈絡膜血流量が豊富な上、脈絡膜血管に近く、又網膜下腔は限られた狭いスペースであり酸素の拡散が速やかに行われた為と考える。room air 呼吸時剝離網膜部は30.0mmHgであるのに対し、剝離黄斑部が15.3mmHgと黄斑部以外の部位が14.7mmHgも高いのは網膜血管からの供給の有無によると考えられ、網膜内循環が網膜表層の神経繊維や神経節細胞の酸素供給に作用しているのがわかる。今回の研究では剝離網膜表面を測定したが、脈絡膜循環のみで供給されている家兎眼網膜表面でも酸素分圧は $39.5 \pm 3.4 \text{ mmHg}$ (n=8)⁹⁾と人眼剝離網膜より高い結果を得ており、網膜血管と脈絡膜血管の二重支配を受けている健常人眼網膜表面酸素分圧は本来はもっと高い値を示すと推測される。今回の結果から、網膜が剝離した場合視細胞は酸素分圧が65mmHgある色素上皮表面から酸素分圧が22.5mmHgの網膜下腔に接する為、脈絡膜循環からの酸素供給が著明に低下するこ

とが示された。

症例3に示した様に網膜冷凍凝固術による網脈絡膜萎縮瘢痕部は100%酸素吸入時に160mmHgと高値を示し、網脈絡膜萎縮瘢痕部で酸素透過性が亢進していることが確かめられた。これは我々の家兎眼での網膜表面酸素分圧と網脈絡膜萎縮瘢痕部表面酸素分圧の同時記録⁹⁾、林ら¹⁰⁾の家兎眼にて冷凍凝固部の酸素分圧が酸素呼吸時に速やかに上昇した報告、Stefansson ら³⁾の rhesus monkey で normal retina と photocoagulated area の酸素分圧は room air 下では有意差はないが、100%酸素呼吸時は photocoagulated area が高値を示したとの報告³⁾に一致する。これらを考慮すると網脈絡膜萎縮瘢痕部の酸素透過性の亢進はわずかであっても、100%酸素吸入後の PaO₂は room air 下での95mmHgから300~400mmHgに上昇する為、絶対量としての Pvit O₂の上昇が顕著となり記録された為と考える。Zuckerman は¹¹⁾oxygen microelectrode を用いて frog retina で網膜酸素消費の57%が photoreceptor によるもので choroidal blood からの transport flow により供給されていると報告している。網膜冷凍凝固術により視細胞が破壊されるならば、酸素消費量が低下し萎縮瘢痕部の酸素透過性が亢進し硝子体腔への酸素の拡散が容易となり、前眼部或は神経網膜への供給が改善されるかも知れない。

尚、本研究は文部省科学研究費の支援を受けた。記して謝意を表する。

文 献

- 1) Alder VA, Cringle SJ, Constable IJ: The retinal oxygen profile in cats. Invest Ophthalmol Vis Sci 24: 30-36, 1983.
- 2) Linsenmeier RA, Goldstick TK, Blum RS, et al: Estimation of retinal oxygen transients from measurements made in the vitreous humor. Exp Eye Res 32: 369-379, 1981.
- 3) Stefansson E, Hatchell DL, Fisher BL, et al: Panretinal photocoagulation and retinal oxygenation in normal and diabetic cats. Am J Ophthalmol 101: 657-664, 1986.
- 4) 宮沢文明: 硝子体酸素分圧の研究. 眼紀 32: 2027-2036, 1981.
- 5) Jacobi KW, Driest F: Sauerstoffbestimmungen im Glaskörper des lebenden Auges. Ber dtsch Ophthalmol Ges 67: 193-198, 1965.
- 6) 本田孔士, 根木 昭, 三露真理子: 摘出網膜灌流における酸素供給の2, 3の問題. 日眼 82: 331-334, 1978.
- 8) de Juan E Jr, Hardy M, Hatchell DL, et al:

The effect of intraocular silicone oil on anterior chamber oxygen pressure in cats. Arch Ophthalmol 104: 1063-1064, 1986.

- 9) 坂上 欧, 塚原陽子, 小椋祐一郎他: 家兎眼硝子体腔酸素分圧測定. (眼紀印刷中).
- 10) 林 優, 飯塚俊明, 宮沢文明他: 硝子体酸素分圧

の研究 3. 冷凍凝固による分圧の変化について. 眼紀 34: 763-770, 1983.

- 11) **Zuckerman R, Weiter JJ**: Oxygen transport in the bullfrog retina. Exp Eye Res 30: 117-127, 1980.
-