我々の教室で試作した顎ファントームに就いて

九州歯科大学第1補綴学教室(指導:坪根政治教授)

九州歯科大学歯科放射線学教室(指導:佐藤信正教授)

1補綴:中尾文則・穂吉利助

歯放:進野政則・森進一郎・大庭健・小川泰夫
 畠山篤・太田正・柏木茂昌・犬塚孝
 花野正純・鳥羽長閑

(1968年6月28日受理)

THE TRIAL OF A JAW PHANTOM PRODUCED AT OUR INSTITUTES

By

Huminori NAKAO Risuke AKIYOSHI Masanori SHINNO Shinichiro MORI
 Ken OBA Yasuo OGAWA Atushi HATAKEYAMA Tadashi OTA Shigemasa
 KASHIWAGI Takashi INUZUKA Masasumi HANANO Nodoka TOBA

Ist Department of Prosthetic Dentistry (Director: Prof. Masaharu TSUBONE)

Department of Dental Radiology (Director: Prof. Nobumasa SATO)

Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

The following results were gained according to the experiments for the jaw phantom.

1. From the measurement of Density of X-ray phantom, the thickness of soft tissue at 6~10mm was equivalent to the Yellow Impression Wax of thickness at 12-13.8mm, so we could replace the Yellow Impression wax instead of the soft tissue.
2. The HVL of the Yellow Impression Wax equaled to 2.2cm, and $\mu=0.315$.
3. The measurement for the Density of photogram of w/p of plaster was 0.55-0.6, when w/p=0.4-0.6, according to the variation of w/p from the Density of the photogram, we could notice the change of Density.
4. Generally, in clinical practice, when the w/p was 0.5, the HVL equaled to 0.24cm, μ equaled to 2.88.
5. The HVL of dry Mandible equaled to 0.42cm, μ equaled to 1.65.
6. Added 3% of vesication polyethylene to a mixture of plaster 68% and acrylic resin powder 32%, then mixed up with the same rate of w/p to make a phantom of HVL=0.44 cm, $\mu=1.57$.
7. According to the result of the Diffusion Test, X-ray photographing of human body under the same condition were examined to have the same effect.

緒言

従来からX線被曝量や散乱線量,あるいはX線写真濃度や透過度などの測定に用いられてきたファントーム材料としては,アクリル板,合成樹脂ポリメチルアクリレート,ポリエチレン粉末,骨,骨粉,水,石膏,パラフィン,デンポン,プレスウッド,(流動性生ゴム化合物で少量の硫黄,亜鉛酸化物,脂肪酸,有機促進剤など

を混ぜた物)などがある,しかも,これらの材料を単一物に使用する事が多く,X線の効果からは実際の人体組織とかなり違っている.そこで,我々は歯科領域の人体組織のX線の効果に最も近いファントームを,入手し易く,かつ安価な材料で製作したので報告する.

顎部を,頬・口唇(軟組織部)と顎骨(硬組織部)とに分けた.軟組織のX線の性質を調べるために,生体ではX線

減衰量測定が出来難いために、下口唇厚径差によって、X線写真濃度を測定した。次に同じX線を用いて Yellow Impression Wax 厚径の濃度曲線を作り、この結果から軟組織の厚さが、写真濃度測定で等価となる Yellow Impression Wax の厚径をもって軟組織に置き変えた、硬組織は、石膏を用いるために、石膏の混水比差によって、写真濃度に影響するか否か、そして、臨床的に用いる $w/p=0.5$ の時の半価層と減衰率を調べた。

硬組織には、乾燥骨(下顎骨)を使用して、歯科X線による厚み一線量曲線を作製し、その半価層と減衰率を調べた。つぎにこの減衰率に近い減衰率となるように、石膏、アクリリック・レジン粉末、発泡ポリエチレン粉末を混合して、硬組織ファントームとした。このファントームの厚み線量曲線を作り、半価層と減衰率を調べた。そして、石膏と同重量の水で練和し、抜去歯牙を植立させて硬組織とした。これに Yellow Impression Wax で被って、顎ファントームを作製した。そして、完成した顎ファントームにて、口腔内撮影法に基いて、同条件で撮影して、生体の口腔内写真とを比較した。

実験方法および結果

I 実験材料

1. X線装置—ELEMA・SCHÖNANDER
—MORITA・AURORA
2. 線量計—Shimadzu Dose Reader RM-1
電離箱—Shimadzu D-R PROBE TYPEB-422
3. 写真濃度測定器—東京光電社製 スタンダード
・デンストメーターANA82T型
(スリット径・2.0mm)
4. 実験材料

- a. Plaster : Nitto Dental Plaster 製番—434
- b. Acrylic Resin : Fujicon PinK 製番—2431P
- c. Wax : G-C Yellow Impression Wax
- d. ポリエチレン : 発泡ポリエチレン粉末
- e. 乾燥骨 : 下顎骨
- f. 抜去歯牙

II 下口唇厚径、積層した Yellow Impression Wax 厚径の写真濃度曲線と Yellow Impression Wax の減弱曲線

軟組織のX線学的効果を調べるために、生体ではX線減衰量測定が出来難いため、Dental Film 上に Yellow Impression Wax (1枚の厚径 2.5mm) を階段状に7枚 (5.0~17.5mm) 積層した。この Film の半分を下口唇(口腔前庭)に挿入して、撮影した。

撮影および現像条件

X線装置 : MORITA・AURORA

電 圧 : 一次・100V, 二次・70Kvp
電 流 : 10mA
時 間 : 0.2sec
F P D : 40cm
現 像 : 同時指定

Fig. 1 積層した Yellow Impression Wax と下口唇とを、同時撮影した写真である。

Dental Film 上に積層した Wax 厚径差により、現われた陰影の写真濃度を3回宛、下口唇の写真濃度を1回、写真濃度測定器で測定した。

Yellow Impression Wax		MEASUREMENT VALUE				D
Leaves	Thickness (mm)	1	2	3	Mean	
0	0.0	1.26	1.26	1.26	1.26	1.10
2	5.0	1.24	1.23	1.22	1.23	1.07
3	7.5	1.195	1.19	1.185	1.19	1.03
4	10.0	1.14	1.14	1.14	1.14	0.98
5	12.5	1.10	1.10	1.10	1.10	0.94
6	15.0	1.04	1.04	1.04	1.04	0.89
7	17.5	0.96	0.96	0.96	0.96	0.80
Film Base D						0.16

Tab. 1

Lower lip (mm)	Measurement Value	D
10.0	1.10	0.94
8.0	1.08	0.92
6.0	1.06	0.90
Film Base D	0.16	

Tab. 2

Tab 1・2より、一つのグラフに Wax は濃度曲線を、軟組織は厚径差による濃度の巾をもって現わした。Wax の濃度は、0～5mm位までは大した変化もなく、X線吸収の度合も微々たるものである。それより厚くなると厚みに対して濃度の変化が生じ、漸次、濃度は薄くなっている。一方下口唇の濃度は、その厚径差に対して比較的差は無かった。

この下口唇写真濃度の巾と、Wax 濃度曲線の交叉する所 (12～13.8mm) が、軟組織として置き変える範囲であった。

Fig. 2 Density of X-ray photograph on Yellow impression wax and Lower lip

次に、軟組織として置き変えた Wax の半価層と減弱係数がどのようなものであるか、Wax の線量測定をして、その減弱線を得た。

測定条件

X線装置：MORITA・AURORA

電圧：一次・100V, 二次・73Kvp

電流：5mA

Filter : 0.5mmAl

Yellow Impression Xax (mm)	R/min
0.0	15.1
7.0	12.6
14.0	9.9
21.0	8.1
28.0	6.75
35.0	5.6
42.0	5.1

Tab 3

Fig. 3 より半価層 (HVL) は、2.2cm であった。また、減弱係数 (μ) は、 $I = I_0 e^{-\mu d}$ より、0.315 であった。

III 石膏のw/p変化に共なる写真濃度への影響とw/p=0.5の時の線量測定

我々が試作した Phantom の主成分は石膏であるか

Fig. 3 X-ray absorption curve of Yellow Impression Wax

ら、石膏に対する混水比率の変化によって、写真濃度に影響があるか否かを調べるために、

まず、w/p比を0.4～0.6まで0.05ずつ変化させた石膏の資料を5枚、各々の厚径は、Tab 4 に示すとおりである。この資料を、同一カセット (六ツ切) 上にのせて、撮影した。

撮影および現像条件

X線装置：ELEMA—SCHÖNANDER

電圧：一次・200V, 二次・45Kvp

電流：20mA

時間：0.1sec

F.P.D. : 85cm

Screen : Dupont・PAR—SPEED

現像：3min 定着：5min

Fig. 4 同一カセット上に資料 (w/p=0.4～0.6まで0.05ずつw/pを変化させた plasterのplate) を置き、撮影した写真。

この Film 上の各陰影を 10 回宛写真濃度測定器 (スリット径2.0mm) で測定した。また、目で見える範囲の気泡の箇所は測定外とした。このスリット径を大きくしたのは、極微小な気泡があるため、それらの測定誤差を小さくするために用いたものである。

NO	Plaster's		MEASUREMENT VALUE										Mean	D
	Thickness (mm)	W/P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	1.8	0.4	0.71	0.72	0.71	0.71	0.72	0.73	0.72	0.73	0.73	0.72	0.72	0.55
2	1.75	0.45	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.77	0.76	0.76	0.59
3	1.8	0.5	0.79	0.79	0.78	0.78	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79	0.784	0.61
4	1.85	0.55	0.79	0.79	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81	0.81	0.80	0.802	0.63
5	1.8	0.6	0.83	0.84	0.83	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.831	0.66
Film Base D			0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	

Tab. 4

Fig. 5 Density of X-ray photograph on Plaster's w/p

写真濃度とw/p比とは、比例していることが解った。これは、w/p比が大きくなるにつれて、密度が小さくなっている事が伺われた。これらw/p比を、0.4~0.6まで変化させてみても、写真濃度の差は0.11で、大きな変化はなく、Phantomを作る際の混水量には、関係なく、練和し安く、早く硬化する量を用いればよい。

次に、w/p比を理論的にした場合、練和し難いため、臨床家は通常100grの石膏のw/pには50cc前後の水を要する。そこでw/p=0.5の時の減衰率、半価層を調べてみた。

資 料 w/p=0.5

厚 径：0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0mm

X線装置：MORITA・AURORA

電 圧：一次・100V, 二次・70Kvp

電 流：10mA

Filter：0.5mm Al

Fig. 6より、HVL=0.24cm, $\mu=2.88$ であった。

IV 乾燥骨(下顎骨)のHVL, μ

生体では、軟組織もそうであったが、顎骨に至っては、軟組織で被われているために減衰量測定はし難いので、我々は、乾燥骨(下顎骨)を使用して頬舌的厚径を

Plaster's w/p=0.5 thickness	R/min
0.0 (mm)	20.25
0.7	16.10
1.0	15.40
1.7	12.25
2.0	11.70
2.7	9.70
3.0	8.60
4.0	7.50
5.0	6.00
6.0	5.60
7.0	4.60
8.2	4.20

Tab. 5

Fig. 6 X-ray absorption curve of Plaster's w/p

ノギスにて計測し、その測定部位をマークした後、減衰量測定をした。なお厚径値は、Tab. 6に示すとおりである。

測定条件：Ⅲに同じ

Fig. 7より、HVL=0.42cm $\mu=1.65$ であった。

Mandible's thickness	R/min
0.0 (mm)	5.7
3.0	3.4
4.2	2.9
5.0	2.4
8.5	2.3
9.0	1.7
16.1	1.2

Tab. 6

Fig. 7 X-ray absorption curve of Mandible

V 硬組織ファントーム作製とそのHVL, μ

我々は、石膏が単一物でファントームに使用されている事に着目した。硬組織ファントームの主成分は、石膏を用いる事にしたが、しかし乾燥骨（下顎骨）のHVL=0.42cm, $\mu=1.65$ であるから、石膏（w/p=0.5）のHVL=0.24cm, $\mu=2.88$ ではX線的に、石膏が乾燥骨よりはるかに硬いので、X線をわずかし吸収しないアクリリック・レジン粉末を混合して乾燥骨のHVL, μ に近づくようにした。またアクリリック・レジン粉末は、石膏とまんべんなく混合でき、しかも石膏のX線的な硬さを、全体的に低下させる事が出来る。

次に、石膏とアクリリック・レジン粉末だけで乾燥骨と等価な硬組織ファントームは出来るが、我々は、X線撮影をした場合にも、生体のX線写真と同様に骨梁像が現われるようにX線をほとんど吸収しない発泡ポリエチレン粉末を、また硬組織ファントームを、より乾燥骨のHVL, μ に近づけるために少量混合した。前記のような働きをする各材料を、石膏・68%, アクリリック・レジン粉末・32%, とその全体の3%程度の発泡ポリエチレン粉末を重量比で混合した。

次に、前述（Ⅲ）のように、w/p比の変化に伴って、

写真濃度は変化するが、その差はw/p=0.4~0.6でわずかに0.11でしかなかったので、前記混合比率の材料を、石膏と同重量（w/p=1）で練和し、硬組織ファントームを作り、そのHVL, μ を調べた。

測定条件：Ⅲ, IVに同じ

Phantom's thickness	R/min
0.0 (mm)	15.0
1.5	11.8
2.0	10.5
3.0	9.6
4.0	8.0
5.0	6.6
6.5	5.7
7.0	5.6
8.0	5.4
9.0	4.7
10.0	4.5
15.0	2.8

Tab. 7

Fig. 8 X-ray absorption curve of Phantom

Fig. 8より、HVL=0.44cm $\mu=1.57$ であった。

乾燥骨（下顎骨）のHVL=0.42cm, $\mu=1.65$ であるから、硬組織ファントームが少し硬い程度であった。これは、生体の水分を考慮して硬くしたためである。

Ⅵ 顎ファントームの作製と透過テスト

抜去歯牙歯根にシートワックス一枚を圧接して、模型用ゴム陰型に挿入した。そして石膏・68%アクリリック・レジン粉末・32%とその全体の3%程度の重量比で混合した物を、石膏と同重量の水で練和してゴム陰型に流入した。これを出来る限り顎骨に似るよう成形した。そしてこれを Yellow Impression Wax にて被って軟組織を作り、これらを一連の顎となるように形成した。

Fig. 9 Jaw phantom の上顎部完成写真.

Fig. 10 Jaw phantom の下顎部完成写真.

Fig. 11 部位 2 ( ) 2, Time 0.1sec で, 左は Jaw phantom を, 右は人体を撮影したものである.

て, 次の結果を得た.

1. X線写真濃度測定から, 厚径 6~10mm の軟組織は, 厚径 12~13.8mm の Yellow Impression Wax と等価で, 軟組織として置き変える事が出来た.
2. Yellow Impression Wax の $HVL = 2.2cm$, $\mu = 0.315$ であった.
3. $w/p = 0.4 \sim 0.6$ の時, 石膏の混水比の写真濃度

次に, 石膏だけの硬組織ファントームに, 歯牙を植立させたファントームを作り, これも透過テストを, 我々が試作した顎ファントームと同様に試みた.

まず石膏だけのファントームでは, III より $w/p = 0.5$ の時, $HVL = 0.24cm$, $\mu = 2.88$ で X 線的に硬く, 口腔内撮影法に基いて撮影しても, 生体と等価でないために X 線写真は黒化した所がなく, 時間を掛け撮影しても歯根さえも不鮮明であった.

次に, 顎ファントームの X 線的性質が生体組織に近似しているから, 撮影条件, 現像条件を同様にした.

撮影, 現像条件

X線装置: MORITA・AURORA

電圧: 一次・100V, 二次・70Kvp

電流: 10mA

F P D: 20cm

現像: 4 min

定着: 5 min

この透過テストの結果, 白線と骨縫合部は, 見られなかったが, 黒線, 骨梁様像は見られた. また, 骨梁様像は, 不規則ではあるが生体の X 線像に類似していた.

VII 結 論

我々は, 顎ファントーム作製過程に於ける実験によっ

は, 0.55~0.6 であった.

また, w/p 比変化に伴う濃度変化から, w/p 比変化に伴って密度の変化が伺われた.

4. 一般, 臨床に於ける $w/p = 0.5$ の時の

$HVL = 0.24cm = 2.4mm$

$\mu = 2.88$ であった.

5. 乾燥下顎骨の $HVL = 0.42cm = 4.2mm$

Fig12 部位5, Time 0.3sec で, 左は Jaw phantom を, 右は人体を撮影したものである.

$\mu=1.65$ であった.

6. 石膏・68%, アクリリック・レジン粉末・32%とその全体の3%程度の発泡ポリエチレン粉末(重量比)を, 石膏と同重量の水で練和し作製したファントームのHVL=0.44cm=4.4mm

$\mu=1.57$ であった.

7. 透過テストの結果, 生体と同条件の撮影にて, そのX線の効果が認められた.

文 献

竹田 公・他 3名; アルデルソン (ALDERSON) 人体ファントームによる線質測定 (第一報): 日本放射線技術学会総会抄録集, 第22回 (1966).

竹田公・他 3名; アルデルソン (ALDERSON) 人体ファントームによる線質測定 (第二報): 日本放射線技術学会総会抄録集, 第24回, (1968).

中村 実・他 2名; JAMES GIRDLER 人体ファントームについて, さくらXレイ写真研究, Vol. 18, No.4 22p~27p, (1967).