
ค่า uniformity index ของ implantation ในการรักษามะเร็งแบบ high dose rate
brachytherapy

โชติกา จำปาเงิน วท.ม.(ฟิสิกส์การแพทย์)

วรรณภา เมธาภิรักษ์ วท.บ.(รังสีเทคนิค)

จงจิณต์ ภัทรมนตรี วท.ม. (นิวเคลียร์ฟิสิกส์)

สาขารังสีรักษา แผนกรังสีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

The uniformity index of implantation in high dose rate brachytherapy

C. Jumpangern, J. Pataramontree

Radiotherapy Section, The King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society,
Bangkok 10330

Abstract

The planning score of an implantation in high dose rate brachytherapy can be evaluated by the dose volume histogram. It is a mean to evaluate the overall dose distribution within a specified volume showing degree of dose uniformity of that treatment planning. The uniformity indexes are about 3.0 for double plane, 1.5 for single plane, 1.0 for single line source. The study shows that the degree of uniformity index depends on geometry of source, the method of calculation: optimization or non optimization as well as the reference level of prescribed treatment dose.

บทคัดย่อ

Dose volume histogram เป็นเครื่องมือใช้ประเมินความสม่ำเสมอของปริมาณรังสีใน implantation โดยอาศัยค่า uniformity index ของการกระจายปริมาณรังสีในปริมาตรที่กำหนด การรักษาที่ดีควรมีค่า uniformity index ประมาณ 3.0, 1.5, 1.0 ใน double plane implantation, single plane implantation และ single line source ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ค่า uniformity index ขึ้นกับตำแหน่งของ source ในแต่ละเข็ม รูปแบบการคำนวณปริมาณรังสี (optimization หรือ non optimization) และการกำหนด reference level ของปริมาณรังสีที่ใช้รักษา

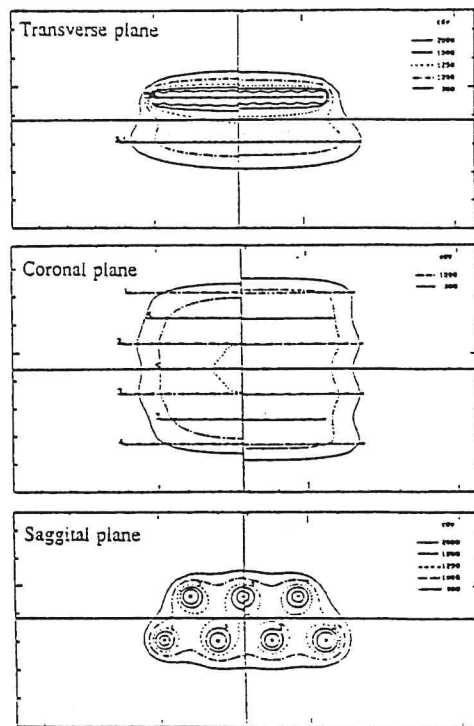
บทนำ

การทำ interstitial implant ในผู้ป่วยโรคมะเร็ง สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงคือ ความสม่ำเสมอของปริมาณรังสีภายในปริมาตรเนื้อเยื่อที่แพทย์ต้องการรักษา เนื้อเยื่อปกติไม่ควรได้รับปริมาณรังสีมากเกินไป ในปัจจุบันนิยมใช้แร่กัมมันตรังสี Ir-192 ชนิด pellet ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.1 มิลลิเมตร ยาว 3.5 มิลลิเมตร และให้ dose rate สูงเพราะสามารถเลี้ยววงแร่กัมมันตรังสีได้ตามตำแหน่งที่ต้องการอย่างแม่นยำ⁽¹⁾ และปรับตำแหน่งเพื่อให้การกระจายของปริมาณรังสีมีความสม่ำเสมอได้ดี ซึ่งจะสม่ำเสมอเท่าใดนั้นขึ้นกับการเรียงเข็ม (geometry of needle) ของ implant นั้นๆ ด้วย การรักษาแบบนี้ผู้ป่วยไม่จำเป็นต้องพักในหอ เนื่องจากใช้เวลาสั้นผู้ป่วยสามารถกลับบ้านได้อย่างปลอดภัย

การกระจายปริมาณรังสีจะสม่ำเสมอ (uniformity) ดี ทำได้โดยการวางตำแหน่ง source ในระยะที่ห่างสม่ำเสมอกัน โดยเฉพาะใน plane ของ source ที่ไม่ขนานกัน หรือเป็นแผ่นโค้งก็ยังคงต้องรักษา symmetry ของตำแหน่ง source อีกด้วย ลักษณะการวาง source เช่นนี้ถือว่าเป็น standard treatment planning

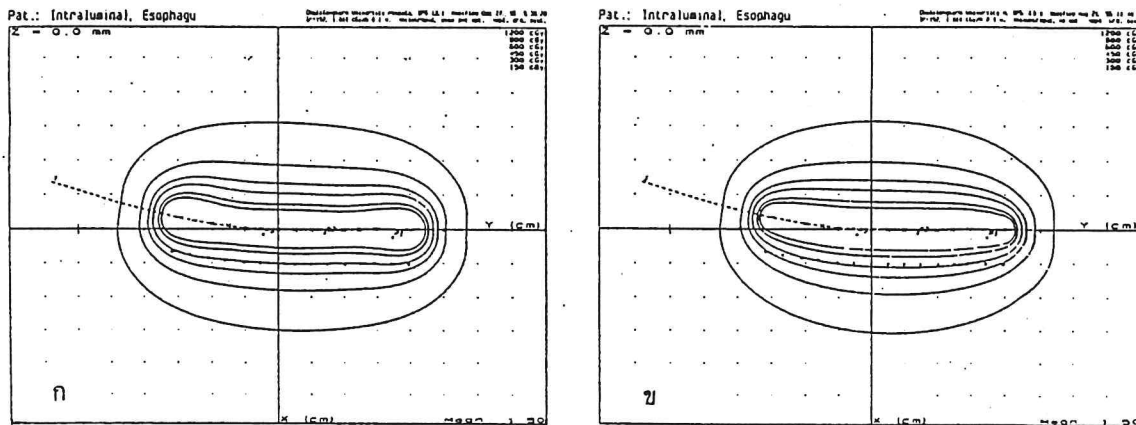
การรักษาโดยใช้ source เพียงเม็ดเดียวเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่กำหนดให้เรียกว่า stepping source system ซึ่ง source จะหยุดอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ ในเวลาที่เท่ากัน (constant dwell time)

การกระจายของปริมาณรังสีจะสม่ำเสมอดียิ่งขึ้นถ้าใช้การคำนวณแบบ optimization เข้ามาร่วมด้วย ซึ่งการคำนวณแบบนี้จะปรับ dwell time ของแต่ละตำแหน่ง source ใหม่ เพื่อให้ปริมาณรังสีที่ขอบของปริมาตรมีค่าสม่ำเสมอที่สุด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เปรียบเทียบเส้น isodose เมื่อคำนวณแบบ non optimization (ซ้าย) และคำนวณแบบ optimization (ขวา)

ข้อควรระวังในการคำนวณแบบ optimization คือ อาจทำให้ปริมาตรในการรักษา (treatment volume) ใหญ่กว่าการคำนวณแบบธรรมดาได้ ควรสังเกตรูปร่างของเส้น isodose ความยาวของการวาง source (active length) ให้ยาวพอดีกับเป้าหมาย (target) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 จุดสีดำเข้มแสดงตำแหน่งที่แพทย์ต้องการให้ได้ปริมาณรังสี 600 cGy จาก single line source

ก. แสดง isodose distribution ที่คำนวณแบบ optimization

ข. แสดง isodose distribution ของ non optimization ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า dose point ที่ส่วนปลายทั้งสองได้ปริมาณรังสีต่ำกว่า 600 cGy และที่ปลาย line source มีเส้น isodose หนาแน่นกว่าแสดงถึงปริมาณรังสีที่ต่ำกว่า

การจัดเรียง source แบบ high dose rate (HDR) ควรยึดหลักของ stepping source dosimetry system⁽²⁾ ซึ่งคล้ายกับ Paris system⁽³⁾

ที่ใช้ใน low dose rate (LDR) หลักการจัดเรียง source ระหว่าง HDR และ LDR ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

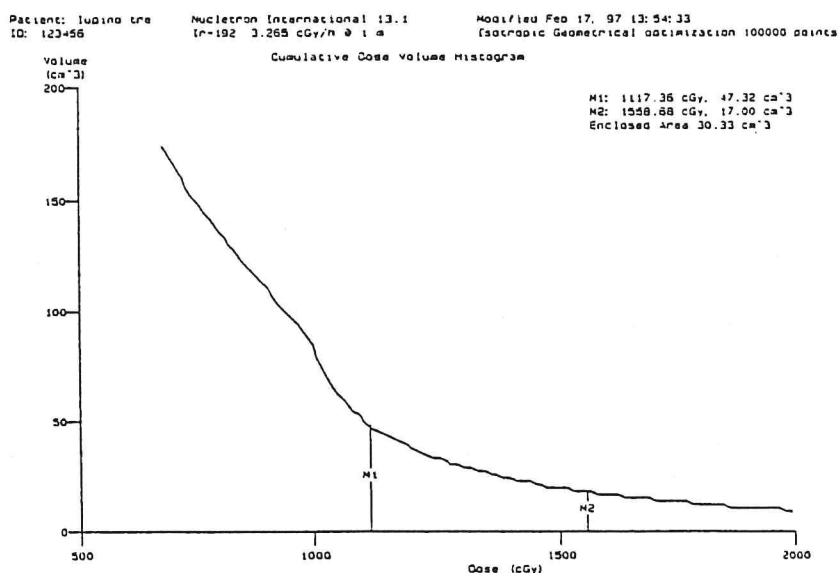
ตารางที่ 1 เกณฑ์การวางตำแหน่งแร่และคำนวณปริมาณรังสีแบบ stepping source dosimetry system ของ HDR implantation และแบบ Paris dosimetry system ของ LDR implantation

SSDS(HDR)	PDS(LDR)
1. ความยาวของ line source เปรียบเทียบกับ tumor volume	1. ความยาวของ line source ควรคลุม tumor volume
2. จำนวน dwell position ในแต่ละ catheter ≥ 3 position	2. เหมือนกับ SSDS
3. จุดที่คำนวณปริมาณรังสีอยู่กลางระหว่าง catheter ถือเป็น reference dose point	3. เหมือนกับ SSDS
4. กำหนด prescribed dose ที่ 85 % ของ reference dose และบริเวณที่ dose > 170 % ถือว่า over dose	4. เหมือนกับ SSDS
5. การ optimization ทำให้ uniformity ภายใน reference dose volume สูงขึ้น	5. uniformity ดำเนินการไม่ได้เนื่องจากไม่สามารถ optimization ได้

Uniformity Index (UI) เป็นเครื่องมือในการประเมินการกระจายของปริมาณรังสีในปริมาตรเป้าหมาย สามารถหาได้จาก dose volume histogram (DVH)

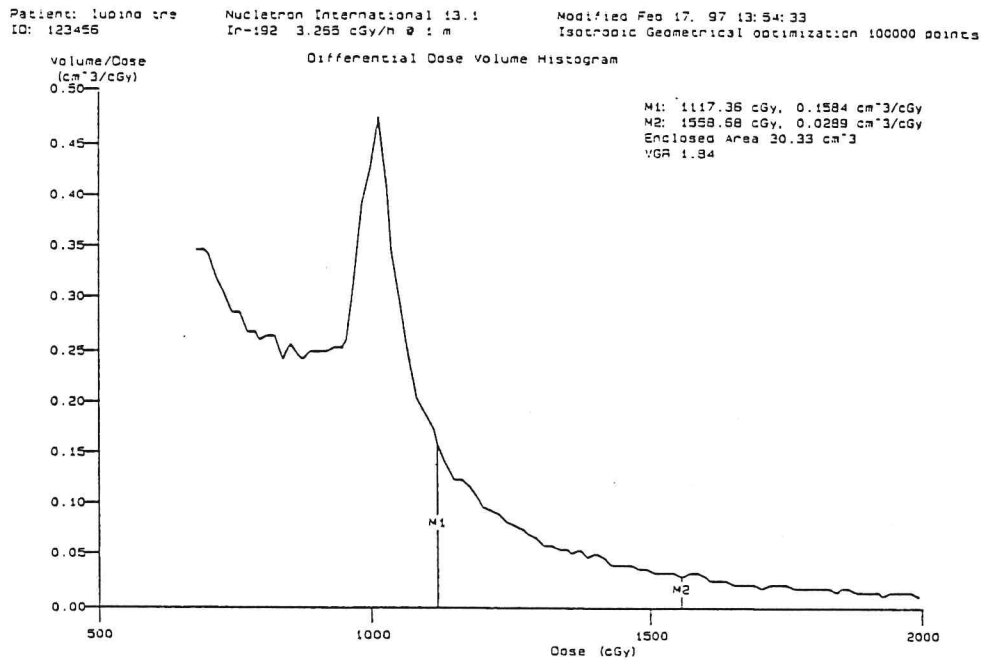
Dose volume histogram มี 3 ชนิด ได้แก่

1. Cumulative DVH เป็น linear plot ของค่าปริมาณรังสี(D)กับปริมาตร(v)ดังรูปที่ 3 M และ M² เป็น margin slider เพื่อคำนวณปริมาตรที่ได้รับค่าปริมาณรังสีที่ต้องการ จากรูปที่ 3 แสดงว่าปริมาตรของเนื้อเยื่อที่ได้รับรังสีระหว่าง 1117.36-1558.68 cGy มีขนาด 30.33 cm³



รูปที่ 3 Cumulative dose volume histogram

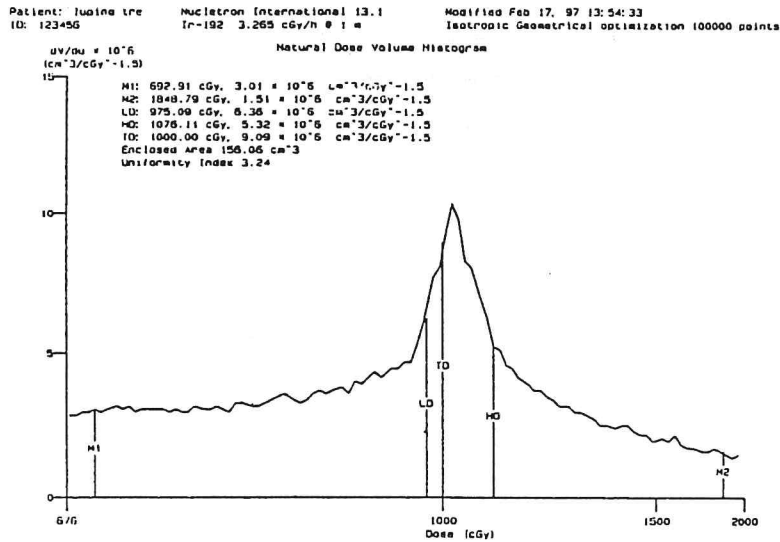
2. Differential DVH เป็นกราฟ plot ปริมาณรังสี ดังรูปที่ 4 ได้แสดงว่าปริมาณ 1000 cGy
ระหว่างค่า dv/dD หรือ (ปริมาตร/ปริมาณรังสี) กับค่า มีค่า volume gradient ratio 1.84



รูปที่ 4 Differential dose volume histogram

3. Natural DVH เนื่องจาก Cumulative DVH และ Differential DVH ขึ้นกับ inverse square law และค่าปริมาณรังสีสูงมากในบริเวณที่ใกล้ๆ กับ source (high dose gradient) Natural DVH จึงเป็นทางออกในการ plot ค่าปริมาตรที่ไม่มีผลของ inverse square law แสดงอยู่ นั่นคือการ plot ระหว่างค่าปริมาณรังสีและ dv/du โดย u เป็น function ของปริมาณรังสี (D) มีค่าดังนี้คือ

$U(D) = -D^{-1.5} + \text{constant}$. Natural DVH จะแสดง uniformity index (UI) ค่า UI คือค่าแสดงการกระจายปริมาณรังสีภายในปริมาตรเป้าหมาย จากรูปที่ 5 ค่าปริมาณรังสี 676 cGy เป็นค่าบน surface ของ volume ที่กำหนดขึ้น ค่า UI สามารถช่วยในการประเมินแผนการรักษาต่างๆได้ โดยถ้าปริมาตรของเนื้อเยื่อมีค่ามากในปริมาณรังสีช่วงใด ก็จะปรากฏ peak ขึ้นมาให้เห็นเด่นชัด UI จะมีค่าสูง ดังนั้นแผนการรักษาที่ดีควรจะมี peak ของ Natural DVH เด่นชัด



รูปที่ 5 Natural dose volume histogram

TD=prescribed dose หรือ treatment dose

LD=half maximum ของความสูงของเส้นกราฟทางด้าน low dose

HD= half maximum ของความสูงของเส้นกราฟทางด้าน high dose

M₁, M₂=margin slider ซึ่งสามารถเลื่อนมาวัดปริมาณในช่วงที่สนใจได้
ตามต้องการ

วัสดุและวิธีการ

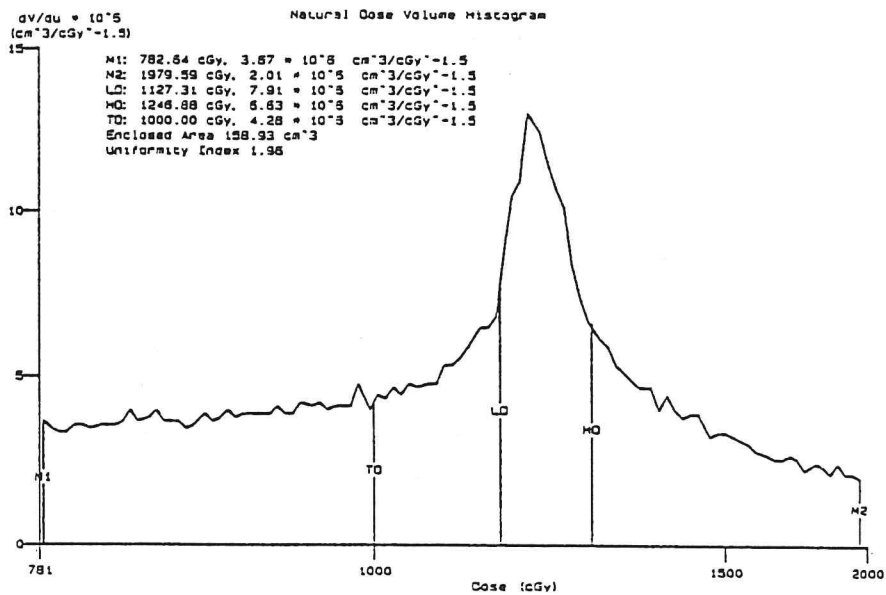
1. ศึกษา implant case แบบ double plane, single plane และ single line source
2. ใช้ planning computer และ software ชื่อ Plato คำนวณปริมาณรังสีอันเนื่องมาจาก implant ในข้อ 1. โดยคำนวณทั้งแบบ optimization และ non optimization
3. เลือกการวางตำแหน่ง source จนกระทั่งได้การกระจายของปริมาณรังสีที่ดีที่สุด
4. ประเมินแผนการรักษาด้วย DVH ถ้าแผนการรักษาไม่ดีพอ ก็จะทำจากข้อ 2-4 จนกระทั่งได้แผนการรักษาที่ดี

ผลและวิจารณ์

● Double plane implant

นิยมใช้ในการรักษามะเร็งเต้านม จากรูปที่ 1 นำมาทำ natural DVH จะได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งมี peak สูง แสดงว่ามีปริมาณจำนวนหนึ่งได้รับปริมาณรังสีสม่ำเสมอ ค่า treatment dose(TD)=1000 cGy เป็นบริเวณที่อยู่ใน peak ลักษณะของ peak แคบและสูงในบริเวณ treatment dose ค่า UI =3.24 ตำแหน่งของ low dose(LD)อยู่ทางซ้ายมือของ TD แสดงว่าปริมาณส่วนหนึ่งได้รับปริมาณรังสีน้อยกว่า TD ในขณะที่ ค่าปริมาณรังสีสูงสุด =2000 cGy ซึ่งไม่เกิน 2 เท่าของ reference dose มีปริมาณน้อย จากลักษณะดังกล่าวทำให้แผนการรักษานี้มีคุณภาพดีพอสมควร

Patient: Iudino the Chulalongkorn University Hospital 13.1 Modified Jan 3, 97 14:20:04
ID: 123456 Ir-192 3.265 cGy/h @ 1 m Isotropic Geometrical optimization 100000 points

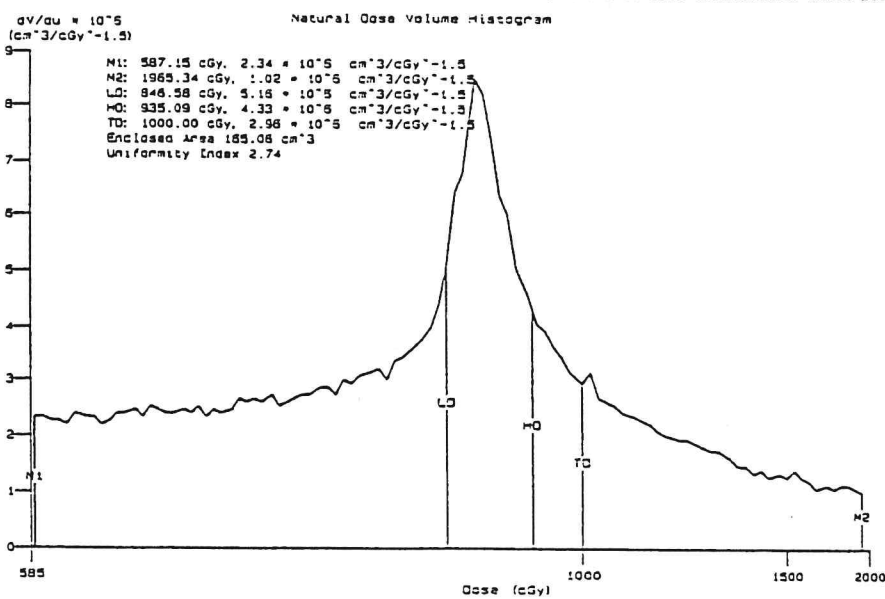


รูปที่ 6 Natural dose volume histogram ของ double plane implant(high dose plan)

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่า peak เลื่อนมาทาง high dose และ LD สูงกว่า TD ดังนั้นปริมาณ ส่วนใหญ่ได้รับปริมาณรังสีในจำนวนที่มากกว่า TD นั่นคือ

แผนการรักษาทำให้ปริมาณส่วนใหญ่ได้รับปริมาณรังสีมากกว่าที่แพทย์ต้องการ

Patient: Iudino the Chulalongkorn University Hospital 13.1 Modified Jan 3, 97 14:31:52
ID: 123456 Ir-192 3.255 cGy/h @ 1 m Isotropic Geometrical optimization 100000 points



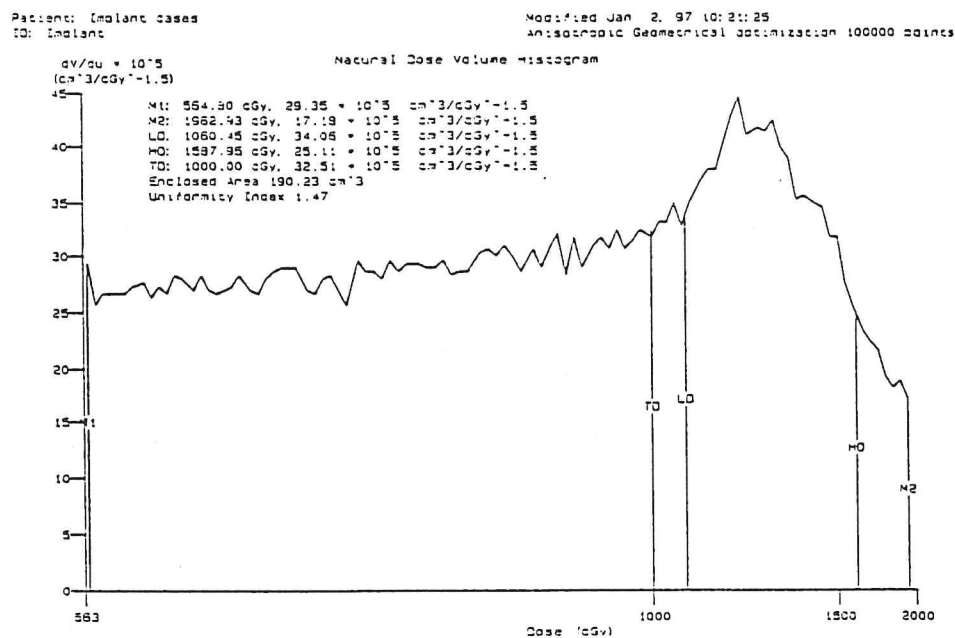
รูปที่ 7 Natural dose volume histogram ของ double plane implant(low dose plan)

จากรูป 7 จะเห็นว่า peak เลื่อนมาทาง low dose ซึ่งต่ำกว่า treatment dose ดังนั้นปริมาณส่วนใหญ่ได้รับปริมาณรังสีในจำนวนที่น้อยกว่า

treatment dose นั่นคือแผนการรักษาทำให้ปริมาณส่วนใหญ่ได้รับปริมาณรังสีน้อยกว่าที่แพทย์ต้องการ

- Single plane implant

นิยมใช้ในการรักษา มะเร็งกระพุ้งแก้ม เป็นต้น



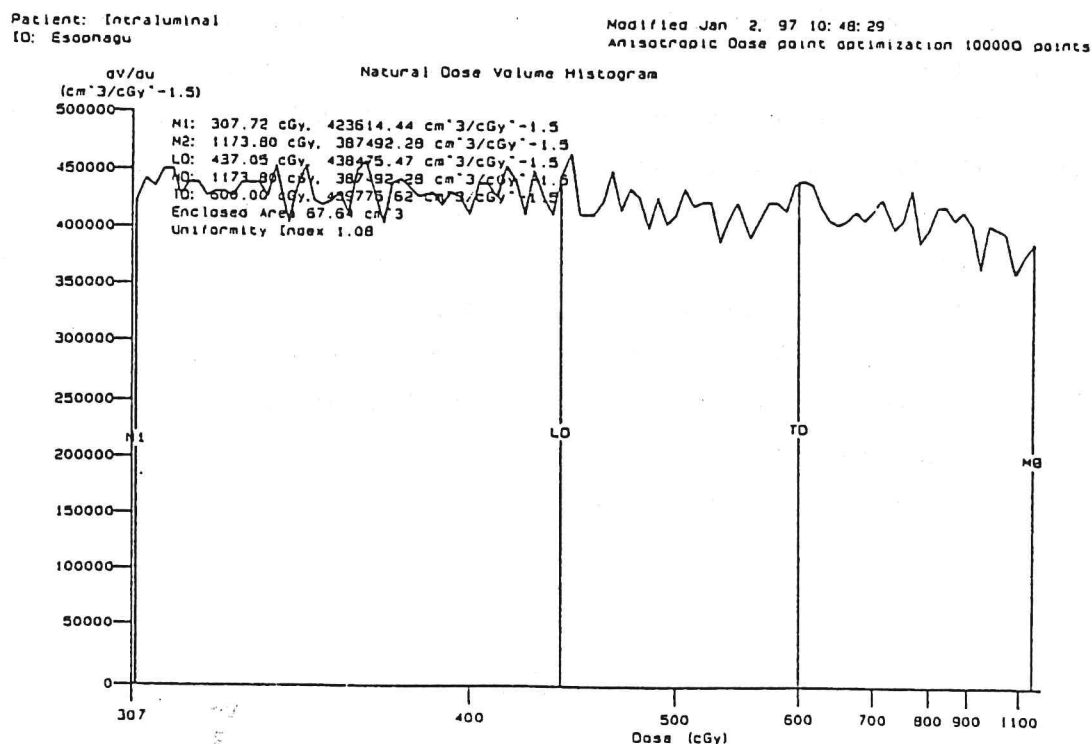
รูปที่ 8 Natural dose volume histogram of single plane

จากรูปที่ 8 จะเห็นว่า peak มีลักษณะกว้าง ไม่สูงเด่นชัดเหมือนกับใน double plane ดังนั้นใน single plane จึงมีปริมาณไม่มากเท่าใดนักที่มีการกระจายของปริมาณรังสีสม่ำเสมอดี ทราบได้จากค่า

UI=1.47 ซึ่งน้อยกว่าของ double plane นอกจากนี้ ปริมาตรของเนื้อเยื่อที่มีค่าปริมาณรังสี 2 เท่าของ reference dose มีค่าสูง เพราะฉะนั้นแผนการรักษา นี้มีคุณภาพพอใช้

• Single line source

นิยมใช้ในการรักษา มะเร็งหลอดอาหาร



รูปที่ 9 Natural dose volume histogram of single line source

จากรูปที่ 9 ไม่มี peak ปรากฏ TD อยู่ระหว่าง LD และ HD เพราะฉะนั้นแสดงว่าความสม่ำเสมอของปริมาณรังสีมีน้อย ซึ่งค่า UI=1.08

ใน Paris system ได้แนะนำว่า useful length treated=0.7 เท่าของ radioactive length และ limiting width ของ treated volume แสดงในตารางที่ 2⁽³⁾

ตารางที่ 2 The width of treated volume for active length

Active length(mm)	0	30	60	90
Width of treated volume(mm)	9	13	15	16

สรุป

ในการคำนวณปริมาณรังสีของ brachytherapy จะได้ dose ที่ uniform ดีขึ้นเมื่อใช้ optimization ปรับ dwell time ที่ตำแหน่งของของ implant แต่ถ้าจัด source position ให้เหมาะสมก็จะได้ dose distribution ดีได้เช่นกัน

ในการตัดสินใจว่า แผนการรักษาของ implant นั้นมีการกระจายของปริมาณรังสีสม่ำเสมอหรือไม่ ดูจากลักษณะต่อไปนี้

1. ค่า UI ใน

double plane ควรมีค่าประมาณ 3.0

single plane ควรมีค่าประมาณ 1.5

single line source ควรมีค่าประมาณ 1.0

แต่ถ้าได้ค่า UI มากกว่าที่กล่าวมาจะดียิ่งขึ้น ค่า UI นั้นขึ้นกับ geometry ของ implant source

loading pattern แผนการรักษานั้นใช้การคำนวณแบบ optimization หรือ non optimization และ prescribed treatment dose ที่ level ไດ

2. ใน differential dose volume histogram และ natural dose volume histogram ควรมี peak สูงและแคบ ณ.บริเวณ TD

3. ใน natural dose volume histogram ตำแหน่ง LD ควรทับกับ TD หรืออยู่ขวามือของ TD นั่นคือไม่มี low dose

4. ค่าปริมาณรังสีสูงสุดไม่ควรมากกว่า 2 เท่าของ reference dose

5. ปริมาตรจากตำแหน่ง HD ขึ้นไปไม่ควรเกิน 50% ของปริมาตรจาก TD ขึ้นไป นั่นคือ ไม่มี over dose

เอกสารอ้างอิง

1. Kolkman-Deurloo IKK, Visser AG, Niel CGJH, Driver N., Levendag PC. Optimization of interstitial volume implants. Radiother. Oncol. 1994; 31: 229-239
2. Laarse RV The stepping source dosimetry system as an extension of the Paris system.
3. Godden TJ. Interstitial therapy. In: Physical aspects of brachytherapy. Medical physics handbooks 19: Adam Hilger, Bristol, England 1988: 148-158
4. Yeung F, Gurtler M, Mould RF. Introduction to dose-volume histograms. In: Radiotherapy treatment planning workshop. 1996: 61-71
5. Anderson LL. A "natural" volume-dose histogram for brachytherapy. Med. Phys. 1986; 13: 898-90