

**ภาคผนวก**

## ภาคผนวก 1

### รายการโปรแกรม เครื่องวัดระดับออกซิเจนที่อิมตัวในเลือด

```
$regfile = "m8def.dat"
$crystal = 8000000
'$baud = 19200
$lib "glcdKS108.lib"

'First we define that we use a graphic LCD
Config Graphlcd = 128 * 64sed , Dataport = Portb , Controlport = Portd , Ce = 4 , Ce2
= 3 , Cd = 5 , Rd = 6 , Reset = 0 , Enable = 7

Dim Ad_read As Integer
Dim G_draw As Integer
Dim X As Integer
Dim Y As Byte
Dim Plot_x As Integer
Dim S_max As Integer
Dim S_min As Integer
Dim Temp_x As Integer
Dim Temp_y As Byte
Dim Spo2 As Single
Dim Txt_out As String * 5
Dim I As Integer
Dim Drift As Single
Dim Drift_count As Integer
Dim Cycle As Byte

'Dim Lcd_back As Byte
'Dim Lcd_contrast As Byte

'Config Timer1 = Pwm , Pwm = 8 , Compare A Pwm = Clear Up , Compare B Pwm = Clear
Down , Prescale = 1

Config Adc = Single , Prescaler = Auto
Start Adc

Cls

Wait 1

Cls

Showpic 0 , 0 , Pu

Wait 7

Cls

SetFont My6_8

Line(0 , 0) -(0 , 63) , 255
Line(0 , 63) -(63 , 63) , 255
Line(63 , 63) -(63 , 0) , 255
Line(63 , 0) -(0 , 0) , 255
Line(63 , 36) -(127 , 36) , 255

Temp_x = 10

Do

S_max = 0
S_min = 1024
Drift_count = 0

If Cycle = 2 Then
Drift = Drift * 5
I = Drift
```



```

.db 0,127,68,68,68,56 ; b
.db 0,56,68,68,68,40 ; c
.db 0,56,68,68,68,127 ; d
.db 0,56,84,84,84,8 ; e
.db 0,8,126,9,9,0 ; f
.db 0,24,164,164,164,124 ; g
.db 0,127,4,4,120,0 ; h
.db 0,0,0,125,64,0 ; i
.db 0,64,128,132,125,0 ; j
.db 0,127,16,40,68,0 ; k
.db 0,0,0,127,64,0 ; l
.db 0,124,4,24,4,120 ; m
.db 0,124,4,4,120,0 ; n
.db 0,56,68,68,68,56 ; o
.db 0,252,68,68,68,56 ; p
.db 0,56,68,68,68,252 ; q
.db 0,68,120,68,4,8 ; r
.db 0,8,84,84,84,32 ; s
.db 0,4,62,68,36,0 ; t
.db 0,60,64,32,124,0 ; u
.db 0,28,32,64,32,28 ; v
.db 0,60,96,48,96,60 ; w
.db 0,108,16,16,108,0 ; x
.db 0,156,160,96,60,0 ; y
.db 0,100,84,84,76,0 ; z
.db 0,8,62,65,65,0 ; {
.db 0,0,0,119,0,0 ; |
.db 0,0,65,65,62,8 ; }
.db 0,2,1,2,1,0 ; ~
.db 0,0,0,0,0,0 ;
$end asm

```

## รายงานการใช้หน่วยความจำของสมองกล

```

Report      : SP16
Date       : 12-15-2010
Time      : 11:48:36

```

```

Compiler   : BASCOM-AVR LIBRARY V 1.11.9.5
Processor  : M8
SRAM       : 400 hex
EEPROM     : 200 hex
ROMSIZE    : 2000 hex

```

```

ROMIMAGE   : 1A32 hex -> Will fit into ROM
ROMIMAGE   : 6706 dec
FLASH USED : 81 %
BAUD       : 9600 Baud
XTAL       : 8000000 Hz
BAUD error : 0.16%

```

```

Stack start : 45F hex
Stack size  : 80 hex
S-Stacksize : 80 hex
S-Stackstart : 3E0 hex
Framesize   : 100 hex
Framestart  : 2DF hex
Space left  : 471 dec

```

```

LCD DB7    : PORTB.7
LCD DB6    : PORTB.6
LCD DB5    : PORTB.5
LCD DB4    : PORTB.4
LCD E      : PORTB.3
LCD RS     : PORTB.2
LCD mode   : 4 bit

```

Variable	Type	Address (hex)	Address (dec)
SP	Word	005D	93
TCNT1	Word	004C	76
OCR1A	Word	004A	74
OCR1B	Word	0048	72
ICR1	Word	0046	70

UBRRH	&H20
UBRRHI	&H20
EEARH	&H1F
EEARL	&H1E
EEDR	&H1D
EECR	&H1C
PORTB	&H18
DDRB	&H17
PINB	&H16
PORTC	&H15
DDRC	&H14
PINC	&H13
PORTD	&H12
DDRD	&H11
PIND	&H10
SPDR	&H0F
SPSR	&H0E
SPCR	&H0D
UDR	&H0C
UCSRA	&H0B
USR	&H0B
UCSRB	&H0A
UCR	&H0A
UCSRC	&H20
UBRRL	&H09
UBRR	&H09
ACSR	&H08
ADMUX	&H07
ADCSR	&H06
ADCSRA	&H06
ADCH	&H05
ADCL	&H04
I2DR	&H03
I2AR	&H02
I2SR	&H01
I2BR	&H00
TWDR	&H03
TWAR	&H02
TWSR	&H01
TWBR	&H00
INT1	7
INT0	6
IVSEL	1
IVCE	0
INTF1	7
INTF0	6
TOIE0	0
TOIE1	2
OCIE1B	3
OCIE1A	4
TICIE1	5
TOIE2	6
OCIE2	7
TOV0	0
TOV1	2
OCF1B	3
OCF1A	4
ICF1	5
TOV2	6
OCF2	7
SPMIE	7
RWWSB	6
RWWSRE	4
BLBSET	3
PGWRT	2
PGERS	1
SPMEN	0
SELFPRGEN	0
SE	7
SM2	6
SM1	5
SM0	4
ISC11	3
ISC10	2
ISC01	1
ISC00	0
WDRF	3

PC5	5
PC4	4
PC3	3
PC2	2
PC1	1
PC0	0
DDC6	6
DDC5	5
DDC4	4
DDC3	3
DDC2	2
DDC1	1
DDC0	0
PINC6	6
PINC5	5
PINC4	4
PINC3	3
PINC2	2
PINC1	1
PINC0	0
PD7	7
PD6	6
PD5	5
PD4	4
PD3	3
PD2	2
PD1	1
PD0	0
DDD7	7
DDD6	6
DDD5	5
DDD4	4
DDD3	3
DDD2	2
DDD1	1
DDD0	0
PIND7	7
PIND6	6
PIND5	5
PIND4	4
PIND3	3
PIND2	2
PIND1	1
PIND0	0
RXC	7
TXC	6
UDRE	5
FE	4
OR	3
DOR	3
UPE	2
PE	2
U2X	1
MPCM	0
RXCIE	7
TXCIE	6
UDRIE	5
RXEN	4
TXEN	3
CHR9	2
UCSZ2	2
RXB8	1
TXB8	0
URSEL	7
UMSEL	6
UPM1	5
UPM0	4
USBS	3
UCSZ1	2
UCSZ0	1
UCPOL	0
SPIE	7
SPE	6
DORD	5
MSTR	4
CPOL	3
CPHA	2

_GLCD_PORT	&H18
_GLCD_PORT_DDR	&H17
_GLCD_PORT_IN	&H16
_GLCD_PORTM	&H12

-----  
Warnings :  
-----

SP	not used
TCNT1	not used
OCR1A	not used
OCR1B	not used
ICR1	not used
EEAR	not used
ADC	not used
COUNTER2	not used
COMPARE2	not used
ADCD	not used
COMPARE1	not used

## ภาคผนวก 2

### Anatomy

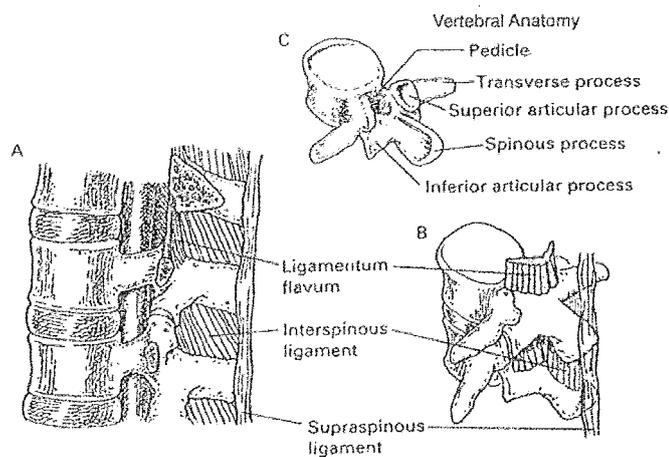
#### Spine (กระดูกสันหลัง)

spinal column ประกอบด้วยกระดูกสันหลังส่วนคอ 7 ชั้น, ส่วนอก 12 ชั้น, ส่วนเอว 5 ชั้น, ส่วน sacrum ซึ่งเชื่อมติดกัน 5 ชั้น, และส่วน coccyx ซึ่งเชื่อมติดกัน 4 ชั้น กระดูกสันหลังแต่ละส่วนมีรูปร่างแตกต่างกัน แต่ส่วนประกอบจะคล้ายกัน คือ body, pedicle, lamina, transverse process, และ spinous process มี intervertebral foramen (ช่องระหว่าง pedicle ของกระดูกสันหลังที่อยู่ติดกัน) เป็นช่องทางออกของเส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve)

#### Ligament

กระดูกสันหลังแต่ละชั้นยึดกันด้วย ligament ต่าง ๆ ดังนี้

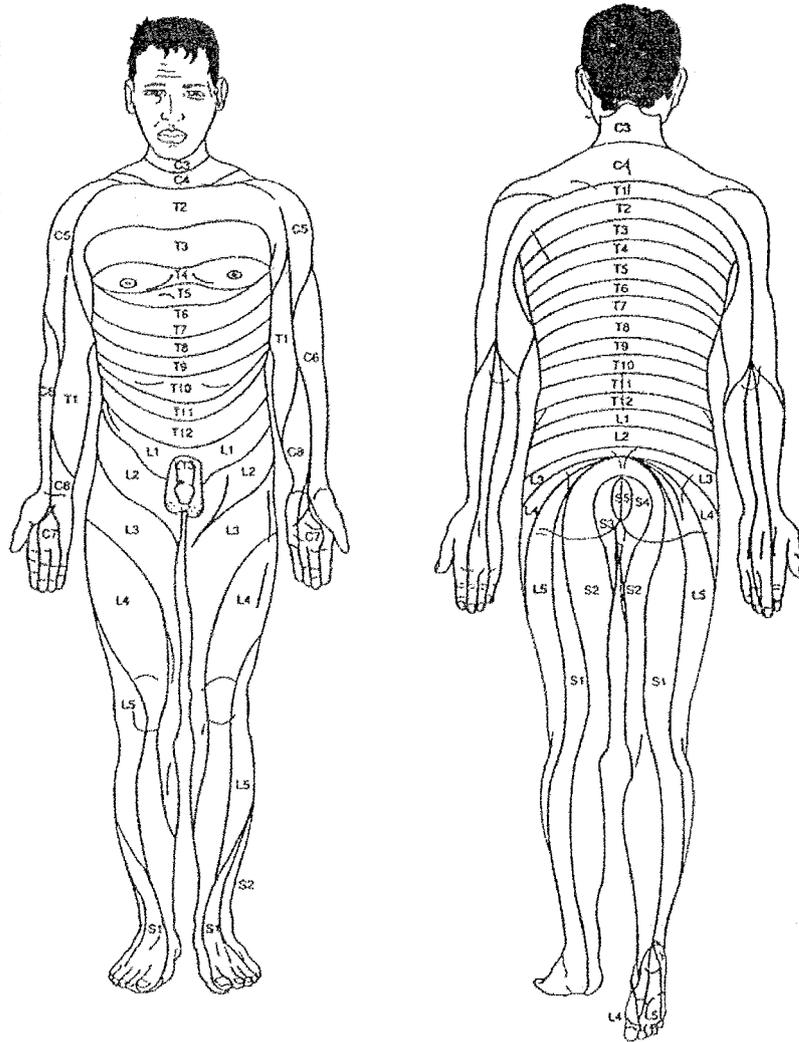
- supraspinous ligament อยู่เหนือ spinous process เป็น ligament ที่อยู่ต้นที่สุด
- interspinous ligament เชื่อมระหว่าง spinous process
- ligamentum flavum อยู่ระหว่าง lamina (จากด้าน anterior และ inferior ของ lamina ชั้นบนไป ยึดด้าน posterior และ superior ของ lamina ชั้นถัดไป) ligament นี้มีความหนามากที่สุดที่ ระดับกระดูกเอวที่ 2 (L2) ประมาณ 5-6 มม.
- posterior longitudinal ligament อยู่ทางด้านหลังของ body
- anterior longitudinal ligament อยู่ทางด้านหน้าของ body



รูป ผนวก 2-1 Vertebral anatomy. (A) Sagittal view. (B) Oblique view of lumbar vertebra showing ligamentum flavum thickening in the caudad extent of intervertebral space and in the midline. (C) Oblique view of single lumbar vertebra.

### Cerebrospinal fluid (CSF)

CSF เป็นของเหลวใส สร้างจาก choroid plexus และถูกดูดกลับที่ arachnoid villi มีปริมาณ 100-150 มล. โดยอยู่ภายในกระโหลกศีรษะและ spinal subarachnoid space เท่า ๆ กัน CSF มี density (mass/volumn) ที่ 37 องศาเซลเซียส เท่ากับ  $1.0003 \pm 0.0003$  กรัม/มล.



รูป ภาพ2-2 The cutaneous dermatomes: low, medium and high blocks correspond to sacral, lumbar and mid-thoracic blocks, respectively.

- ผู้ป่วยปฏิเสธการทำ spinal anesthesia (patient's refusal)
- hypovolemia , shock การทำ spinal anesthesia มีผลให้เกิด hypotension มากขึ้น
- increased intracranial pressure เนื่องจากอาจเกิด ICP เพิ่มสูงขึ้น (จากยาชาที่ฉีดเข้า subarachnoid space) หรืออาจเกิด brain herniation จากการที่ CSF ไหลออกมากก็ได้
- septicemia ซึ่งเชื้ออาจถูกนำเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง
- มีการติดเชื้อบริเวณที่จะทำ spinal anesthesia ทำให้เกิด CNS infection ตามมา
- coagulopathy, thrombocytopenia, หรือ platelet dysfunction เนื่องจากเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิด epidural hematoma

## Equipment

### Spinal needle

มีตั้งแต่ขนาด 20G - 32G (ตัวเลขยิ่งมาก ขนาดเข็มยิ่งเล็ก เนื่องจาก G-gauge เป็นหน่วยจากการนำเข็มมาเรียงตัวติดกันแบบ side-to-side ให้ได้ความยาว 1 นิ้ว เช่น เข็มขนาด 25G หมายถึง นำเข็มขนาดดังกล่าวนี้มาเรียงกันแบบ side to side เป็นจำนวน 25 อัน จึงจะได้ความยาว 1 นิ้ว)

อุบัติการณ์ของการเกิด postdural puncture headache (PDPH) จะลดลงเมื่อใช้ spinal needle ขนาดเล็ก โดยทั่วไปนิยมใช้ขนาด 22G - 27G ขนาดตั้งแต่ 25G เป็นต้นไป จะค่อนข้าง flexible จึงอาจใช้เข็มนำ (stylet) แทนไปก่อนแทง spinal needle ก็ได้ ขนาด 30G และ 32G ไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างยิ่ง เนื่องจากขนาดเล็กมาก ทำให้แทงเข็มได้ยาก

แบ่งชนิดของ spinal needle ได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ (รูป ภาพ2-3) คือ

1. ชนิดปลายตัด (cutting, sharp tip) ได้แก่ Quincke type needle ซึ่งปลายตัด (bevel) ของเข็มสามารถตัด dural fiber ทำให้มีโอกาสเกิด PDPH ได้
2. ชนิดปลายดินสอ (pencil point) ปลายเข็มซึ่งหุ้มจะแทรกแทนที่จะตัด dural fiber และเมื่อถอนเข็มออกมาแล้ว dural fiber จะกลับมาสวมกัน จึงลดอุบัติการณ์ของ PDPH ได้

เมื่อใช้ยาชาชนิด hyperbaric เราจะสามารถปรับ, ควบคุมระดับการชาได้ดีกว่าเมื่อใช้ยาชาชนิด isobaric หรือ hypobaric โดยยาชาชนิดหลังมี unpredictable spread ใน CSF ทำให้เกิด patchy block ได้

## Technique

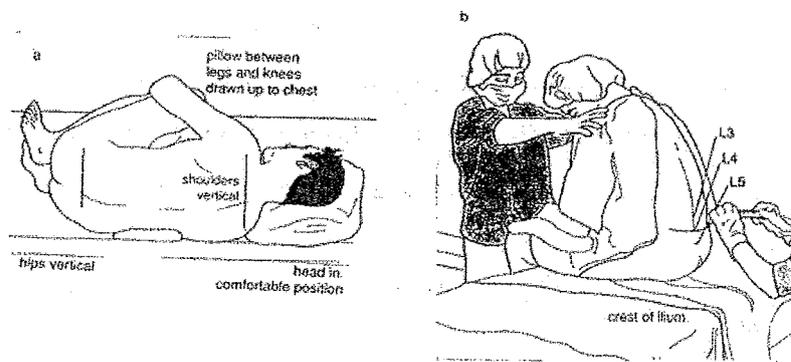
### -Position

เราสามารถทำ spinal anesthesia ได้ เมื่อผู้ป่วยอยู่ในท่าตะแคง (lateral decubitus), นั่ง (sitting), หรือคว่ำ (prone) การจัดทำขึ้นอยู่กับผู้ป่วย, ยาที่ใช้, ชนิดและตำแหน่งของการผ่าตัด รวมถึงความคุ้นชินของ วิสัญญีแพทย์

- ท่าตะแคง ถ้าใช้ยาชาชนิด hyperbaric ให้จัดด้านที่ต้องการผ่าตัดเป็นด้านล่าง (dependent part) ในทางตรงกันข้าม ถ้าใช้ยาชาชนิด hypobaric ให้จัดด้านที่ต้องการผ่าตัดเป็นด้านบน (non-dependent part) โดยจัดให้หลังผู้ป่วยชิดขอบเตียงมากที่สุด ไหล่และสะโพกต้องตั้งฉากกับเตียง เพื่อป้องกันการหมุนบิดของกระดูกสันหลัง ผู้ป่วยควรรองคางให้ชิดอก และงอเข้าให้ชิดลำตัวมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ interspinous space บริเวณเอวเปิดกว้างออก (รูป ฅ2-4 a)

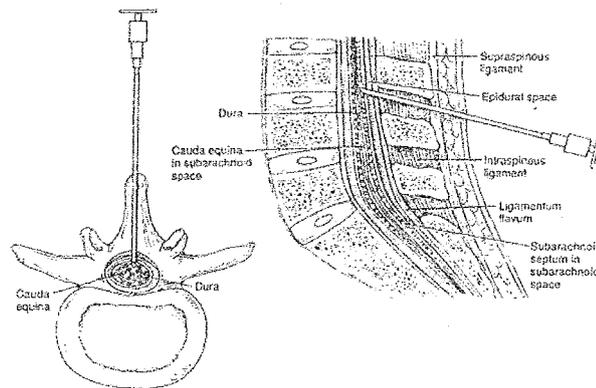
- ทำนั่ง ให้ผู้ป่วยประสานมือไว้บนตักหรือ mayo พักเท้าทั้งสองไว้บนที่วางเท้า ก้มคางจนชิดอก จะมีผลให้ interspinous space ห่างออกจากกัน (รูป ฅ2-4 b)

- ท่าคว่ำ เหมาะสำหรับการทำ anal surgery โดยใช้ยาชาชนิด hypobaric เนื่องจากยาชาชนิดนี้จะลอยตัวและออกฤทธิ์บริเวณ sacrum ซึ่งเป็นบริเวณที่สูงที่สุดและเป็นบริเวณที่ต้องการทำการผ่าตัด พอดี แต่ทำนี้ CSF จะไหลออกมาทาง spinal needle ได้ยาก อาจต้องอาศัยการ aspirate



รูป ฅ2-4 The patient may be positioned in either the lateral decubitus or the sitting position.

10. ทาง spinal needle ให้ตั้งฉากหรือทำมุม 10 องศาไปทาง cephalad โดยหัน bevel ของ spinal needle แบบปลายตัด ให้ขนานไปกับ dural fiber ไม่ควรหัน bevel ให้ตัด dural fiber ในแนวตั้งฉาก spinal needle จะผ่านชั้นต่าง ๆ เหล่านี้ตามลำดับ skin, subcutaneous tissue, supraspinous ligament, interspinous ligament, ligamentum flavum, และ dura mater ก่อนเข้าสู่ subarachnoid space แต่แต่ละชั้นที่กล่าวมาจะมี resistance ต่อ spinal needle แตกต่างกันไป โดยผู้แทง spinal needle จะรู้สึกว่ามี resistance เพิ่มขึ้นเมื่อ spinal needle ผ่านเข้าไปใน ligamentum flavum และรู้สึก 'pop' เมื่อ spinal needle ผ่าน dura mater ดังรูป 3.8



รูป ภาพ2-5 Lumbar spinal anesthesia ; midline approach.

11. หากคิดว่าปลาย spinal needle เข้าสู่ subarachnoid space แล้ว ให้ถอย stylet ของ spinal needle ออก ถ้าตำแหน่งของปลาย spinal needle ถูกต้อง จะมี CSF ไหลออกมา ในกรณีที่ใช้ spinal needle ขนาดเล็ก (25G ขึ้นไป) อาจต้องรอนาน 5-10 วินาที จึงจะเห็น CSF ไหลออกมา ถ้า CSF ที่ไหลออกมามีเลือดปน ให้รอนจน CSF ใสไหลออกมาก่อน แล้วค่อยฉีดยาสาเข้าสู่ subarachnoid space

12. ถ้า CSF ไม่ไหลออกมา ให้หมุน spinal needle 90° เนื่องจากปลาย spinal needle อาจชนอยู่กับ spinal nerve root ถ้า CSF ไม่ไหล อาจหมุน spinal needle ได้อีกครั้งละ 90° จนครบ 360° อย่างไรก็ตาม หลังการหมุน spinal needle ควรรอเวลาให้ CSF ไหลออกมาก่อนที่จะหมุน spinal needle ซีกต่อไป

13. หลังปฏิบัติตามข้อ 12. แล้ว หาก CSF ไม่ไหลออกมา ให้ใส่ stylet กลับเข้าไปใน spinal needle แล้วแทงเข็มลึกลงไปอีก เนื่องจากปลาย spinal needle อาจอยู่ตื้นกว่า subarachnoid space

14. ในบางครั้ง อาจแทง spinal needle แล้วชนกระดูก ถ้าแทง spinal needle ลงไปไม่ลึก แสดงว่าปลาย spinal needle ชนกับ spinous process ของกระดูกสันหลังอันบน วิธีการ

20. ดึง spinal needle และ syring ออกพร้อมกัน

21. ให้ผู้ป่วยนอนหงายทันทีถ้าต้องการให้ชาทั้งสองข้าง ถ้าต้องการให้ชาข้างเดียว (spinal one leg หรือ unilateral block) ให้นอนในท่าเดิมไปก่อนจนยาชา 'fix' (คือ ยาชาหยุดกระจายตัวใน CSF ยาชาแต่ละตัว จะหยุดกระจายตัวใน CSF ต่างกัน ดังนี้ 5% hyperbaric lidocaine 5-10 นาที, 0.5% hyperbaric bupivacaine 10-15 นาที, และ 0.5% isobaric bupivacaine 20-30 นาที) การจัดทำหรือปรับระดับสูงต่ำของศีรษะผู้ป่วยเพื่อให้ได้ระดับการชาที่ต้องการ จะกระทำได้ก่อนยาชา fix เท่านั้น

22. หลังฉีดยาชาแล้ว ให้เฝ้าดูแลผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด โดยวัดความดันเลือดทุก 1-2 นาที จนกว่ายาชาจะ fix (ซึ่งใช้เวลาแตกต่างกันตามชนิดของยาชา ดังที่กล่าวข้างต้น) หรือแม้ยาชา fix แล้ว แต่ถ้าความดันเลือดยังไม่คงที่ ก็ต้องวัดความดันเลือดทุก 1-2 นาที ไปก่อนจนกว่าความดันเลือดจะกลับเข้าสู่ค่าในช่วงปกติ ของผู้ป่วยรายนั้น ๆ ในขณะเดียวกัน ต้องตรวจสอบระดับการชาทุก 1-2 นาทีไปจนกว่ายาชาจะ fix ด้วย หลังจากยาชา fix และผู้ป่วยมีสัญญาณชีพอยู่ในเกณฑ์ปกติ ก็สามารถวัดความดันเลือดทุก 5 นาทีได้

23. ต้องดูแลผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด เพื่อวินิจฉัยภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้และใช้การรักษาที่ถูกต้อง เหมาะสมอย่างทันที

24. หลังจากผ่าตัดเสร็จ ผู้ป่วยจะได้รับการดูแลต่ออย่างใกล้ชิดในห้องพักฟื้น จนกว่าระดับการชาจะลดลงถึง L1 (บริเวณขาหนีบ) และผู้ป่วยขยับเท้าได้ จึงจะส่งกลับหอผู้ป่วย

25. ให้ผู้ป่วยนอนราบ (หนุนหมอนสูง 1-2 ใบได้) ไปอีก 6-8 ชั่วโมงหลังฉีดยาชา เนื่องจากยาชายังมีผล sympathectomy อาจทำให้ผู้ป่วยมี orthostatic hypotension เมื่อเปลี่ยนท่าจาก supine เป็น up right

### Technique for paramedian approach

นอกจาก midline approach ที่กล่าวมาแล้ว การทำ spinal anesthesia ยังสามารถทำได้โดย paramedian approach โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่จัดทำไม่ได้ (เช่น ผู้ป่วย fractured femur ที่ on traction), ภาวะคอกสันหลังมีความผิดปกติ (เช่น scoliosis), หรือผู้ป่วยสูงอายุที่มี calcified ligament เป็นต้น อย่างไรก็ตาม paramedian approach เป็นเทคนิคที่ใช้ได้กับผู้ป่วยทุกราย แม้แต่รายที่ไม่มีปัญหาใด ๆ ข้างต้น

ตำแหน่งที่จะแทง spinal needle คือ 1-1.5 cm. จาก midline ตรงระดับขอบบนของ spinous process ของกระดูกสันหลังอันล่างของ interspinous space นั้น ๆ spinal needle จะแทงผ่าน skin, subcutaneous tissue, paraspinal muscle, ligamentum flavum, และ dura mater ก่อนเข้าสู่ subarachnoid space (รูป ๒-7) ถ้าแทง spinal needle แล้วชนกระดูก (ซึ่ง

## ภาคผนวก 3

ผลงาน ระดับนานาชาติ ภายในประเทศ



# Advanced Virtual RISC Chip Transducer For Non-Invasive Photonics Chemical Sensor Application: The study through Pulse Oximetry

Suphachock Upalee<sup>1</sup>, Thanapong Hundee<sup>2</sup>, Saisunee Liawruangrath<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Center of Excellence for Innovation in Chemistry and Materials Science Research Center, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand

<sup>2</sup>Science and Technology Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand

\*e-mail: scislwrn@chiangmai.ac.th

**Abstract:** Reduced instruction set computing, or RISC is a CPU design strategy based on the insight that simplified (as opposed to complex) instructions can provide higher performance if this simplicity enables much faster execution of each instruction. It is widely used in embedded devices as a main processor to detect various type of signals and transduce to a simplified output include chemical sensors as well as non-invasively through optical measurements. A pulse oximeter is a non-invasively photonic related device that measures and displays the pulse rate and the saturation of hemoglobin in arterial blood. This saturation of hemoglobin is a measure of the average amount of oxygen bound to each hemoglobin molecule. The absorption of visible light by a hemoglobin solution varies with oxygenation. The chemical binding of the different types of hemoglobin species changes the physical properties of the hemoglobin as well. The oxygen chemically combined with hemoglobin inside the red blood cells makes up nearly all of the oxygen present in the blood (there is also a very small amount which is dissolved in the plasma).

RISC is programmed as a basic optical sensor of a noninvasive pulse oximetry input device. It consists of both red and infrared LED's with peak emission wavelengths of 660 nm and 940 nm respectively, and a silicon photodiode. The Photodiode used has a broad range of spectral responses that overlaps the emission spectra of both the red and infrared LED's. The light intensity detected by the photodetector depends, not only on the intensity of the incident light, but mainly on the opacity of the skin, reflection by bones, tissue scattering, and the amount of blood in the vascular bed. Then it calculates oxygen saturation, which is often referred to as SaO<sub>2</sub> or SpO<sub>2</sub>, is defined as the ratio of oxyhemoglobin (HbO<sub>2</sub>) to the total concentration of hemoglobin present in the blood:

$$SaO_2 = \frac{HbO_2}{(HbO_2 + Hb)}$$

Oxyhemoglobin (HbO<sub>2</sub>) and hemoglobin (Hb), have significantly different optical spectra in the wavelength range from 600nm to 1000nm.

A mathematical model for the P.O Pro begins by considering light at two wavelengths,  $I_1$  and  $I_2$  passing through tissue and being detected at a distant location. At each wavelength the total light attenuation is described by four different component absorbencies: oxyhemoglobin in the blood (concentration  $C_0$ , molar absorptivity  $a_0$ , and effective path length  $L_0$ ), "reduced" deoxyhemoglobin in the blood (concentration  $C_r$ , molar absorptivity  $a_r$ , and effective path length  $L_r$ ), specific variable absorbencies that are not from the arterial blood (concentration  $C_x$ , molar absorptivity  $a_x$  and effective path length  $L_x$ ), and all other non-specific sources of optical attenuation, combined as  $A_y$ , which can include light scattering, geometric factors, and characteristics of the emitter and detector elements. The total absorbance at the two wavelengths can then be written:

$$\frac{d(C_x L_x)}{dt} = 0$$

The blood volume change due to the arterial pulse results in a modulation of the measured absorbencies. By taking the time rate of change of the absorbencies, the two last terms in each equation are effectively zero, since the concentration and effective path length of absorbing material outside the arterial blood do not change during a pulse:

$$\frac{dA_y}{dt} = 0$$

All the nonspecific effects on light attenuation are also effectively invariant on the time scale of a cardiac cycle:

$$\begin{cases} A_{\lambda_1} = a_0 C_0 L_0 + a_r C_r L_r + a_x C_x L_x + A_y \\ A_{\lambda_2} = a_0 C_0 L_0 + a_r C_r L_r + a_x C_x L_x + A_y \end{cases}$$

Since the extinction coefficients are constant, and the blood concentrations are constant on the time scale of a pulse, the time-dependent changes in the absorbencies at the two wavelengths can be assigned entirely to the change in the blood path length

(  $\frac{dL_0}{dt}$  and  $\frac{dL_r}{dt}$  ). With the additional assumption that these two blood path length changes are equivalent (or more generally, their ratio is a constant), the ratio  $R$  of the time rate of change of the absorbance at wavelength  $I_1$  to that at wavelength  $I_2$  reduces to the following:

$$R = \frac{dA_{\lambda_1}/dt}{dA_{\lambda_2}/dt} = \frac{-d \log(I_1/I_0)/dt}{-d \log(I_2/I_0)/dt} = \frac{\Delta I_1/I_1}{\Delta I_2/I_2} = \frac{a_0 C_0 + a_r C_r}{a_0 C_0 + a_r C_r}$$

The functional oxygen saturation is given by

$$S = \frac{C_0}{(C_0 + C_r)}$$

and

$$IS = C_r / (C_0 + C_r)$$

The oxygen saturation can then be written in terms of the ratio  $R$  as follows:

$$S = \frac{a_r - a_x R}{(a_r - a_x) - (a_x - a_0) R}$$

The above equation provides the desired relationship between the experimentally determined ratio  $R$  and the clinically desired oxygen saturation  $S$ . LEDs are not monochromatic light sources, typically with bandwidths between 20 and 50 nm, and therefore standard molar absorptivities for hemoglobin cannot be used directly in the above equation. Also, the simple model presented above is only approximately true; for example, the two wavelengths do not necessarily have the exact same path length changes, and second-order scattering effects have been ignored. Consequently the relationship between  $S$  and  $R$  is instead determined empirically by fitting the clinical data to a generalized function of the form.

