



12-31-2009

The Recovery Index of Oxygen Saturation from Orthostatic Syncope in Patients with Spinal Cord Injury

David S. Liu

Alice M. K. Wong

Shih-Ching Chen

Kang-Ping Lin

Chien-Hung Lai

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://rps.researchcommons.org/journal>



Part of the [Rehabilitation and Therapy Commons](#)

Recommended Citation

Liu, David S.; Wong, Alice M. K.; Chen, Shih-Ching; Lin, Kang-Ping; Lai, Chien-Hung; and Chang, Walter H. (2009) "The Recovery Index of Oxygen Saturation from Orthostatic Syncope in Patients with Spinal Cord Injury," *Rehabilitation Practice and Science*: Vol. 37: Iss. 4, Article 2.

DOI: [https://doi.org/10.6315/2009.37\(4\)02](https://doi.org/10.6315/2009.37(4)02)

Available at: <https://rps.researchcommons.org/journal/vol37/iss4/2>

This Original Article is brought to you for free and open access by Rehabilitation Practice and Science. It has been accepted for inclusion in Rehabilitation Practice and Science by an authorized editor of Rehabilitation Practice and Science. For more information, please contact twpmrscore@gmail.com.

The Recovery Index of Oxygen Saturation from Orthostatic Syncope in Patients with Spinal Cord Injury

Authors

David S. Liu, Alice M. K. Wong, Shih-Ching Chen, Kang-Ping Lin, Chien-Hung Lai, and Walter H. Chang

原著

脊髓損傷病患直立性暈眩之血氧濃度復原研究

劉士偉¹ 黃美涓² 陳適卿³ 林康平⁴ 賴建宏^{1,3} 張恆雄¹

中原大學 生物醫學工程學系¹ 電機工程學系⁴ 林口長庚醫院復健科²
台北醫學大學附設醫院復健科³

脊髓損傷之病患常於復健初期由臥姿到站立或坐起時，產生直立性低血壓，嚴重者造成直立性暈眩現象，傾斜床治療術為有效且普遍用於治療脊髓損傷病患，逐漸克服直立性暈眩的方法。脊髓損傷病患直立性暈眩之客觀量化指標研究中指出，直立性暈眩指標與血氧濃度為研究直立性暈眩合適的生理參數，血氧濃度能適當表現出直立性暈眩現象，然而血氧濃度受暈眩程度與傾斜角度影響而變化，因此以血氧濃度表現病患直立性暈眩復原情況將變得困難。

本研究提出兩點假說來有效的評估脊髓損傷病患之直立性暈眩：(1)利用耳垂血氧濃度即時計算暈眩復原指數的方法，其指數數值可以正確描述脊髓損傷病患每次傾斜床訓練時，直立性暈眩的復原的情況，且與實際觀察此次病患傾斜床訓練之暈眩表現趨勢符合；(2)暈眩時之暈眩復原指數與復原後之暈眩復原指數於統計上有顯著差異。研究中以目前血氧濃度與復原後血氧濃度差，相對於最低血氧濃度與復原後血氧濃度之百分比值之平均值，來計算脊髓損傷病患直立性暈眩復原指數。

結果顯示，8位脊髓損傷受試者之暈眩復原指數由暈眩期間的 $50\pm 22\%$ ，顯著進步至直立暈眩復原後 $88\pm 10\%$ ，且受試者之暈眩復原指數數值，能正確定性描述直立暈眩復原的變化。而暈眩期間與復原後之暈眩復原指數間統計上有顯著差異，表示暈眩復原指數不僅能描述暈眩復原情況，復原後之暈眩復原指數有顯著的增加。此外，研究結果亦顯示相鄰訓練間，暈眩復原指數穩定成長，且數值在50%以上，則病患將接近復原。直立性暈眩復原指數不僅能顯示此次訓練的復原效果，也具有預估未來訓練療程的臨床價值，因此證實本研究利用血氧濃度估計直立暈眩復原指數之計算法，在評估脊髓損傷病患直立性暈眩的復原變化為可行且能獲致良好的效果。

總結來說，本研究直立暈眩復原指數的評估方法，證實可提供脊髓損傷病患在每次傾斜床訓練上，定性與定量顯示直立暈眩復原變化的依據，應能提供醫護人員於脊髓損傷病患傾斜床訓練時之量化依據，也可據此將脊髓損傷病患的復健運動計畫做更精確的規劃。(台灣復健醫誌 2009; 37(4): 227 - 234)

關鍵詞：脊髓損傷(spinal cord injury)，傾斜床(tilt table)，直立性暈眩(orthostatic syncope)，血氧濃度(oxygen saturation)

前 言

脊髓損傷之病患，尤其是完全損傷者，常於復健初期由臥姿到站立或坐起時，產生直立性低血壓，這

是因為脊髓交感神經的輸出徑路(spinal sympathetic efferent pathway)被截斷，患者站立時導致血壓無法隨時調整，因而造成低血壓。^[1]

脊髓損傷病患於直立性低血壓發生時，症狀不固定，可能無暈眩，也常常併發頭暈、視力模糊、噁心

投稿日期：98年2月12日 修改日期：98年5月25日 接受日期：98年5月26日

通訊作者：張恆雄教授，中原大學生物醫學工程系，桃園縣320中壢市中北路200號

電話：(03) 2654503 E-mail：whchang@cycu.edu.tw

等直立性暈眩(orthostatic syncope)的情況。而傾斜床治療術(tilt table training)為有效且普遍去治療脊髓損傷病患，逐漸克服直立性暈眩的方法。多篇研究曾指出脊髓損傷病患於傾斜床上，隨著傾斜角度增加而有血壓顯著下降的趨勢。^[2-5] 探討脊髓損傷病患之直立性暈眩指標，由 Sampson 於 2000 年提出自我感覺暈眩前指標(self-perceived presyncope score)，於測試中詢問受測者自我對暈眩的感覺，給予無暈眩、微量、中度暈眩、嚴重暈眩、昏厥五種暈眩等級。^[6]

脊髓損傷病患直立性暈眩之客觀量化指標於 2008 年提出，^[7] 研究中以脊髓損傷病患視力範圍為暈眩量化依據，分成四種暈眩等級：無暈眩、輕度暈眩、中度暈眩與重度暈眩。根據此研究中之結果，暈眩發生時，血壓在不同程度的暈眩是無法顯示出差異性。血氧濃度(SpO₂)則測出於重度暈眩、輕度暈眩與無暈眩時，可以顯示其差異性，暈眩程度越嚴重時血氧濃度越低。此研究中也發現，相同的血氧濃度值，於不同傾斜角度下，暈眩發生的程度可能有所不同，例如血氧濃度值 89%，於傾斜角度 75 度以下病患不暈眩，但血氧濃度值 89% 發生在傾斜角度 30 度與 45 度時，病患就落在嚴重暈眩的範圍內。因此，血氧濃度雖能合適表現直立性暈眩不同程度上的差異，然而血氧濃度也受病患受傷程度與傾斜角度變因的影響，使得血氧濃度表現病患直立性暈眩成為複雜，如何能簡單且有效的評估每次傾斜床訓練與預估未來的療程，將成血氧濃度應用在傾斜床訓練上重要的課題。

本研究將提出兩點假說並加以驗證：(1)利用耳垂血氧濃度即時計算出暈眩復原指數的方法，其指數數值可以正確描述脊髓損傷病患每次傾斜床訓練時，直立性暈眩的復原的情況，且與實際觀察此次病患傾斜床訓練之暈眩表現趨勢符合；(2)暈眩時之暈眩復原指數與復原後之暈眩復原指數於統計上有顯著差異。研究中以發生直立性暈眩脊髓損傷病患為對象，以脊髓損傷病患接受傾斜床訓練，由訓練直立發生暈眩狀態至訓練直立能復原至無暈眩狀態，並記錄每次訓練之血氧濃度。將病患嚴重暈眩之血氧濃度與克服直立性暈眩後之血氧濃度作為基礎，以目前的血氧濃度估計此次訓練脊髓損傷病患直立性暈眩的復原指數，並探討暈眩復原指數預估未來訓練療程的能力。研究中將直立性暈眩復原指數將以簡單的百分比顯示，且使用暈眩復原指數，能定性描述出病患復健過程中，個人每次訓練暈眩改善的變化與復原趨勢，且透過暈眩復原指數的定量分析，預期能驗證暈眩復原指數確能在病患暈眩期間與復原後，存在顯著差異，證實暈眩復原指數能作為脊髓損傷病患於直立性暈眩復健上的

評估方法。

材料與方法

本研究收集 8 位頸脊髓損傷病患，其年齡介於 20~59 歲之間。所有受試者均為脊髓損傷後 2 至 14 週之內，頸椎受傷介於 C4-T1 之間，經診斷受傷程度為 ASIA (American Spinal Cord Injury Association A)，且曾發生直立性暈眩現象之病患，其基本資料如表 1 所示。收集之受試者皆無使用心血管相關藥物，且無罹患可能導致血氧濃度改變的疾病，如貧血與肺部疾病之病史。所有受試者經傾斜床訓練，訓練過程中受試者皆無穿著彈性襪與輔助血壓升高之器材，傾斜床訓練步驟如下：1. 受測者平躺於傾斜床上約 10 分鐘，使其身心保持輕鬆。對受測者說明傾斜床動作程序，並登錄其基本的生理資料。測試人員將耳垂式血氧濃度感測器置於耳垂上，檢查量測正常後，啟動電動傾斜床控制程式。2. 電動傾斜床傾斜角度分別停留於 0 度、30 度、45 度、60 度及 75 度角，以每角度停留 6 分鐘的速度進行控制。程式啟動後會記錄傾斜角度與血氧濃度訊號，血氧濃度取樣率為 1 Hz。3. 傾斜過程中不斷詢問受測者的感覺，並以暈眩量化標準評估受測者狀況，兩分鐘一次紀錄至訓練病歷表上。若途中有任何不適或嚴重暈眩之症狀，立刻停止傾斜床測試之進行。4. 實驗的受測過程每天一回，每次同一時段。實驗過程中若脊髓損傷病患連續二至三次完整訓練而無暈眩發生，認為病患已能適應直立刺激，本實驗方停止訓練。測試設備使用 HP 床邊監視器將血氧濃度轉成類比訊號，經訊號擷取/控制卡將訊號紀錄至個人電腦中，傾斜床則採 Akron 之電動傾斜床，床面能運動從 -5 度至 90 度。

本研究將脊髓損傷病患直立之暈眩程度(pre-syncope symptom)劃分為四個等級：無暈眩(PS 1)、微量暈眩(PS 2)、中度暈眩(PS 3)與昏厥(PS 4)，如表 2 所示。以病患視力範圍作為暈眩程度的客觀量化標準。

評估每次復健病患直立性暈眩的復原情形，本研究將定義“直立暈眩復原指數”(the recovery index of orthostatic syncope)，其意義為所有目前血氧濃度與復原後血氧濃度差相對於最低血氧濃度與復原後血氧濃度之百分比值平均值，計算公式如下所示：

$$\left(\sum_{i=\text{各角度}} \frac{\text{目前血氧濃度值}_i - \text{最低血氧濃度值}_i}{\text{復原後血氧濃度值}_i - \text{最低血氧濃度值}_i + C_i} \right) \times \frac{1}{N} \times 100\%$$

其中 N 為完整訓練所需經歷之傾斜角度 30、45、60 與 75 度，共 24 分鐘之取樣個數 1440 點。“目前血氧濃度值_i”

為此次訓練中，病患於此傾斜角度 i 下之血氧濃度值。“最低血氧濃度值 _{i} ”為此傾斜角度 i 下，資料庫內所有發生暈眩程度 PS 4 時之平均值。“復原後血氧濃度值 _{i} ”為此傾斜角度 i 下，資料庫內所有不發生暈眩 PS 1 時之平均值。資料庫內“最低血氧濃度值 _{i} ”與“復原後血氧濃度值 _{i} ”，由先前臨床研究傾斜床訓練所收集病患之生理資料而得。^[7] C_i 為此傾斜角度 i 下之調整常數，此常數可調整“直立暈眩復原指數”之整體數值的準位(offset)，此準位 C_i 調整所有復原指數，所有數值皆平移調整到醫護人員對復原程度之期望值，此 C_i 為調整全部復原指數作相同的平移改變，不使用於每次訓練時個別復原指數的調整，所有受試者之 C_i 設定應前後一致，以免影響個別復原指數的正確性與統計結果。例如本研究中假設病患復原後指數數值應接近或大於 80% 為可接受認定復原的範圍，因此調整準位 C_i 能使復原後之指數數據的表現範圍能落於 80% 至 100% 之間，此常數亦可依醫護人員的經驗與期望，來調整此受試者數值整體的表現。由於直立暈眩發生於傾斜後，各傾斜角度有其各自最低血氧濃度與復原後血氧濃度值，因此將每個角度每個血氧濃度取樣點帶入公式計算，並加以平均，將可得到“直立暈眩復原指數”。

“直立暈眩復原指數”藉由資料庫內起坐性暈眩於血氧濃度的臨床表現平均值，^[7]來評估病患個人此次訓練暈眩的復原情況，以及復原變化趨勢是否趨於穩定，作為未來預估傾斜床訓練療程的依據。“直立暈眩復原指數”所呈現的意義，為每次傾斜床訓練中，病患暈眩發生程度與實際能完成訓練比例(訓練完成度)的雙重意義。暈眩發生程度越嚴重，血氧濃度越低，公式計算得分越低；能完成站立角度越少，則與完整訓練角度數目比例相對低，則公式計算得分也越低。反之，越完成訓練角度數目與站立過程中發生暈眩程度越低，則直立暈眩復原指數越接近 100%。

統計與分析

本研究資料分析採 SPSS 11.5 版(SPSS 11.5 for Windows)作為統計分析軟體。研究中統計分組，因受試者接受訓練次數不同，因此以最短訓練受試者次數為基準，8 位受試者取暈眩期間第一次(測試首次)、中間次(測試中次)與最末次(測試末次)之暈眩復原指數，取復原後末兩次訓練之暈眩復原指數，共五組以單因子變異數(one way ANOVA)及事後 LSD 分析暈眩期間與復原後之暈眩復原指數是否存在顯著差異，研究中設定 P 值小於 0.05 認定有統計學上的差異。

結果

本研究收集 8 位脊髓損傷病患，傾斜床訓練時於訓練期間皆發生直立暈眩，訓練直至連續兩次以上直立訓練無暈眩產生，認定受試者由直立性暈眩復原，8 位受試者訓練總次數最短 6 次，最長至 15 次，如表 1 所示。訓練過程每兩分鐘記錄 1 次暈眩程度，每次訓練計算可得一直立暈眩復原指數。結果於表 3 列出每位病患每次訓練之直立暈眩復原指數，及其對應訓練過程的暈眩程度。

結果顯示，如表 3 所示，受試者 A、B、C、D、F、G 與 H，完整接受傾斜床訓練總次數 6 至 15 次，開始發生暈眩時之傾斜角度，由開始角度 45 度逐步進步至結束角度 75 度，暈眩程度也由最開始訓練的暈眩程度 3 或 4 降至訓練結束的暈眩程度 1(不暈眩)，而直立暈眩復原指數由暈眩期間的指數平均值 $50 \pm 22\%$ ，升至訓練結束完全復原後的指數平均值 $88 \pm 10\%$ 。受試者 E 開始發生暈眩時之傾斜角度，則由開始角度 30 度逐步進步至結束角度 75 度，暈眩程度也由最開始訓練的暈眩程度 3 降至訓練結束的暈眩程度 1(不暈眩)。由三位脊髓損傷受試者 B、D 與 E 於傾斜床訓練中，觀察每次訓練直立性暈眩復原指數分佈，如表 4 所示，顯示病患 D 由首次復原指數 57%，至穩定 81%~93%，而後達到復原；病患 E 由首次復原指數 9%，歷經不穩定 7% 至 51% 到 27% 的變化，再至穩定 59%~54%，而後達到復原；病患 B 由首次復原指數 27%，歷經不穩定 34% 至 60% 到 30% 變動，再至穩定 63%~56%，而後達到復原。由上述傾斜床訓練過程中，發現相鄰訓練間暈眩指數不穩定的變化，則病患之後仍須接受多次的傾斜床訓練；而相鄰訓練間暈眩復原指數穩定成長且在 50% 以上，則病患將接近復原。

八位受試者於發生暈眩期間，最低暈眩復原指數平均發生在 $26 \pm 15\%$ ，但皆不在每位受試者首次訓練時出現，而暈眩期間最高暈眩復原指數平均發生 $68 \pm 19\%$ ，也不一定在最末次發生。所有暈眩期間的暈眩復原指數共有 53 筆，總平均為 $50 \pm 22\%$ 。八位受試者訓練至 75 度站立且完成 30 分鐘之訓練，期間皆無暈眩發生，認定病患於直立性暈眩中復原，復原後仍接受 2 至 3 次的訓練，如表 3 所示，復原後最低暈眩復原指數平均落在 $81 \pm 9\%$ ，最高暈眩復原指數平均落在 $95 \pm 6\%$ ，所有復原後的暈眩復原指數共有 20 筆，總平均為 $88 \pm 10\%$ 。暈眩期間最後一次訓練，八位受試者的暈眩復原指數平均為 $65 \pm 25\%$ ，如表 5 所示，較暈眩期間暈眩復原指數之平均值 $50 \pm 22\%$ 為高，略低於復原後之最低暈眩復原指數之平均值 $81 \pm 9\%$ 。結果整體來

看，暈眩復原指數能定性描述出病患復健過程中，個人每次訓練暈眩改善的變化與復原趨勢。

八位受試者訓練期間，暈眩期間的訓練次數約 3 至 12 次，復原後訓練約 2 至 3 次。統計分析 8 位受試者取暈眩期間之測試首次、測試中次與測試末次之暈眩復原指數，及取復原後末兩次訓練之暈眩復原指數，共五組以單因子變異數 LSD (one way ANOVA) 分析，結果如表 5 所示。暈眩期間之測試首次、測試中

次與測試末次之暈眩復原指數分別為 40±22%、49±24% 與 65±25%，復原後兩次訓練之暈眩復原指數分別為 86±13% 與 89±8%。統計結果顯示，暈眩期間首、中、末次訓練間無統計上差異，且復原後兩次訓練間統計上也無統計差異，而暈眩期間的訓練與復原後的訓練間則有統計差異，復原後暈眩復原指數明顯大於暈眩時期(P<0.05)。

表 1. 受試者基本資料

受試者	A	B	C	D	E	F	G	H
男/女	男	女	男	男	男	男	男	男
年齡 (歲)	32	39	20	45	25	59	33	20
受傷部位	C5	C5	C5	C5	C4	C4	C5	C5
ASIA 等級	A	A	A	A	A	A	A	A
受傷時間 (周)	3	5	14	3	3	2	4	8
訓練總次數	7	13	15	6	10	6	6	10

註：ASIA 等級：美國脊髓損傷協會訂定受傷程度分類標準

表 2. 脊髓損傷病患直立暈眩分類與量化標準^[7]

等級	暈眩程度	病患表現	暈眩量化標準
PS1	無	視力正常 眼前尚清楚	視力範圍超過 5 公尺
PS2	微量	遠處視力模糊 不正常反射 眼前昏花	視力範圍介於 1.5 公尺
PS3	中度暈眩	近處視力模糊 臉色蒼白呼吸困難 眼前一片黑暗	視力範圍低於 1 公尺
PS4	暈厥或休克	眼睛翻白 刺激無回應	幾乎喪失視力

表 3. 脊髓損傷受試者於傾斜床訓練中暈眩恢復指數與其暈眩程度及訓練狀況之關係表

受試者	直立暈眩恢復指數(%)						最大暈眩程度		發生暈眩角度		暈眩期間訓練次數	復原後訓練次數
	發生暈眩期間 (n=53)			復原後 (n=20)			開始	結束	開始	結束		
	最低	最高	平均	最低	最高	平均						
A	21	64	44±15	76	89	83±8	4	1	45	75	5	2
B	27	63	45±12	86	99	91±6	3	1	45	75	10	3
C	40	89	67±20	91	100	97±5	3	1	45	75	12	3
D	57	91	81±16	85	93	89±6	3	1	75	75	4	2
E	7	59	34±20	92	94	93±1	4	1	30	75	7	3
F	17	32	22±6	70	100	85±21	3	1	45	60	4	2
G	22	84	55±28	81	100	87±11	4	1	45	75	3	3
H	18	63	48±14	68	84	76±12	3	1	45	75	8	2
平均	26±15	68±19	50±22	81±9	95±6	88±10						

註：直立暈眩恢復指數值=平均值±標準差

表 4. 三位脊髓損傷受試者於傾斜床訓練中，每次訓練直立性暈眩復原指數分佈表

受試者 (總訓練次數n)	直立性暈眩復原指數(%)												
	暈眩期間										復原後		
D (n= 6)	57	91	81	93	—	—	—	—	—	—	93	85	—
E (n=10)	9	7	51	32	27	59	54	—	—	—	92	93	94
B (n=13)	27	34	60	44	48	30	42	46	63	56	99	86	89

表 5. 脊髓損傷受試者於傾斜床訓練中訓練前後順序是否影響暈眩恢復指數之關係表

受試者	直立性暈眩恢復指數(%)				
	測試首次	暈眩期間			復原後
		測試中次	測試末次	測試一	測試二
A	43	21	64	89	76
B	27	48	56	99	86
C	79	73	93	100	91
D	57	81	93	93	85
E	9	32	54	92	94
F	32	18	20	70	100
G	22	57	84	80	100
H	47	63	53	68	84
平均	40±22	49±24	65±25	86±13 ^a	89±8 ^a

註：直立暈眩恢復指數值=平均值±標準差；暈眩期間訓練間沒有統計差異($P<0.05$)；^a 為暈眩期間訓練與復原後訓練間有統計差異($P<0.05$)

討 論

生理學上，因姿勢改變所產生的直立性壓力對於人體心血管系統的調節機制是一個重要的研究課題。脊髓損傷病患於復健初期過程中最常見的障礙為時常發生姿勢性低血壓的暈眩現象，尤其是發生在受傷部位 T5 以上，^[8]以及受傷後兩、三週內急性期的病人，^[9]主要原因是因為交感神經受到傷害，而產生的自主神經性失調(autonomic disorder)。當姿勢改變後，血液因重力的關係約有 300~800cc 的血液聚集到下肢去，造成下肢靜脈壓約增加 50~100mmHg，並使靜脈血管擴張，而腿部肌肉又無法收縮使血液回流到心臟，^[10-13]如此一來心輸出量減少、血壓下降、心臟的感壓接受器反應出一微弱訊號至延腦，此時延腦的心臟血管控制中樞發出一命令，使心臟速率增快，但訊號無法下傳至腿部肌肉使其收縮，因此上肢的血流量依舊很少，之後將導致腦部血液供給量不足，造成腦部缺血

而缺氧導致暈眩產生。

臨床上傾斜床已經成為廣泛被用來評估各類暈眩症狀的工具，有很多的文獻也證實，藉傾斜角度改變來重複訓練脊髓損傷病患對直立壓的容忍力，進而幫助病人可以繼續進行其他復健治療，將有助於癱瘓病患的復健。^[14]在傾斜床研究方面，有很多學者發現當發生突發性暈眩現象時，通常都會伴隨著低血壓、心輸出量減少、大腦血流量降低等症狀。^[2-7]1991年 Gonzalez 等人研究中指出，雖然脊髓損傷病患在傾斜床 60 度以上時都會有收縮壓和舒張壓明顯下降的現象，但暈眩現象卻不一定會發生。報告中顯示經由量測腦血流變化數據就能分辨暈眩症狀和無暈眩症狀之間的差別。^[3]Illman 等人^[15]與 Houtman 等人^[16]研究中發現不暈眩的脊髓損傷病患直立時，血氧濃度或大腦紅血球帶氧量(O₂Hb)都會下降。量測耳垂血氧濃度結果顯示，不僅不暈眩之脊髓損傷病患於傾斜角度增加下血氧濃度下降，並且暈眩程度將更增加血氧濃度的下降。^[7]由之前研究結果，推測急性期脊髓損傷病患站立時，血壓的下降會導致病患之大腦血流量減少，進而造成腦部

供血不足而導致缺氧，最終導致直立性暈眩，也表現於頭部的血氧濃度上。

然而傾斜角度的變化，使得脊髓損傷病患在相同血氧濃度值下，於不同傾斜角度可能造成暈眩的表現不同；^[7]暈眩程度不同，血氧濃度值也不同，因此參考血氧濃度值來判斷病患暈眩與否與訓練復原情況將變得複雜。因此本研究嘗試建立直立傾斜床訓練時，直立暈眩血氧濃度復原情況的數學式，將急性期脊髓損傷病患之血氧濃度，考慮傾斜角度與暈眩程度的影響，每次訓練以簡單一個“直立暈眩復原指數”百分比表示病患目前直立的承受程度。結果顯示，八位脊髓損傷病患不僅由開始暈眩發生角度 45 度，進步至角度 75 度，暈眩程度也由程度 4 復原至無暈眩，而且對照於直立暈眩復原指數，確實於傾斜床訓練治療後的直立暈眩復原指數上，均有顯著的進步，由暈眩期間 $50 \pm 22\%$ ，顯著進步至復原後 $88 \pm 10\%$ ，定性觀察每次訓練暈眩程度、實際完成時間的比例，與直立暈眩復原指數的變化趨勢符合，可證實本研究利用血氧濃度估計直立暈眩復原指數之計算法，表現在脊髓損傷病患復健過程中，個人每次訓練暈眩改善的變化與復原趨勢為可行且能獲致良好的效果。結果也顯示“直立暈眩復原指數”演算法中 C_i 的設計，確實可藉由 C_i 調整整體復原指數的平移，達到醫護人員對復原程度的指數期望值，但 C_i 使用於全部復原指數之相同的平移改變，不使用於每次訓練時個別復原指數的調整，建議『直立暈眩復原指數』演算法使用上，所有受試者之 C_i 設定應前後一致，以免影響個別復原指數的正確性與統計結果。因此收集更多的臨床數據，可訂出 C_i 對復原指數平移的關係，可幫助醫護人員於每個受試者臨床訓練前，指數期望值設定的參考。

本研究比較訓練期間不同階段的暈眩復原指數，以觀察訓練之前後順序是否對暈眩復原指數產生影響，結果顯示暈眩期間之首中末訓練無統計上的差異，觀察訓練順序，發現最小與最大之暈眩復原指數，也不是發生在訓練最首與最末次，推測此階段的病患直立生理調控機制，易受損傷其他的併發症所影響，仍處於不穩定狀態。而復原後之訓練間統計上無差異，且與暈眩期間的訓練有統計上的差異，推測病患直立生理調控機制，復原後與暈眩期間大不相同，已趨於穩定調控機制。復原前後統計結果，也證實第二項假設成立，暈眩復原指數可定量的表現脊髓損傷病患直立性暈眩變化。

比較“暈眩程度”與“直立暈眩復原指數”，各具不同的臨床意義與重要性。具直立性暈眩的病患於傾斜床訓練時，由病患血氧濃度的表現，對照資料庫內有相

同受傷程度病患的資料，比對其傾斜角度、受傷程度與暈眩程度的關係，可以即時得知病患此時的“暈眩程度”，就可立即在傾斜床訓練上採取適當的預防措施；然而想要瞭解病患此次復健的效果，並預估病患未來訓練療程，則單以“暈眩程度”不足以來說明復原程度，仍要參考暈眩發生時間長短、暈眩程度、站立最大傾斜角度、站立總時間與復原穩定性等，才能說明復原程度，因此產生以“直立暈眩復原指數”的設計概念，以簡單的百分比數值表示每次傾斜床訓練的復健效果，並參考之最近幾次訓練的復原指數，觀察其穩定性以瞭解直立性暈眩復原的程度，使醫護人員與病患在臨床上更能迅速與簡易的安排未來的療程。依據本研究結果顯示，訓練初期病患多發生嚴重暈眩與站立僅能承受較低傾斜角度，多在傾斜角度 45 度就發生暈眩，如表 3 中所示，意即病患血氧濃度值的趨勢偏低，訓練時間較短，因此代入直立性暈眩指數公式計算，數值顯著偏低；隨著訓練的次數增加，病患能完成的傾斜角度越高，暈眩發生程度也越低，直立性暈眩指數數值表現也越高，最後達到復原後之直立性暈眩指數數值在 80%~100% 之間，結果顯示直立性暈眩指數數值表現與病患臨床表現相符。

直立性暈眩復原指數，不僅能評估每次訓練病患復原的情形，也提供預估病患未來復原療程的可能性。由表 4 結果顯示，脊髓損傷受試者接受傾斜床訓練的過程中，相鄰訓練間暈眩指數不穩定的變化，則病患之後仍須接受多次的傾斜床訓練，而當病患復原指數達穩定成長且數值大於 50%，雖仍有暈眩現象發生，但訓練幾次後很快達到復原狀態。因此直立性暈眩復原指數不僅顯示此次訓練的復原效果，也具有預估未來傾斜床訓練療程的臨床價值。

暈眩恢復指數演算法所獲得的結果於統計上不受訓練前後順序的影響，暈眩恢復指數於統計上可顯著表現出多數脊髓損傷病患直立暈眩改善的變化，然而在少數訓練中的指數數據中發現，有過高、過低或暈眩期間指數最高值高過復原後的指數值是值得探究的，受試者 C、D 與 G 於發生暈眩期間最高暈眩恢復指數值達 89、91 與 84，有過高的情形，如表 3 所示，檢視三者三次的訓練情況，受試者皆完成所有訓練時間與所有傾斜角度站立，且訓練期中發生暈眩的暈眩程度輕微(PS 2)，暈眩發生時間短，皆少於 4 分鐘內，依暈眩恢復指數演算法計算會得到較高的值。受試者 D 與 G 暈眩期間指數最高值高過復原後的指數值，觀察此兩次訓練血氧濃度值發現，未暈眩時血氧濃度表現良好，雖有短暫暈眩血氧濃度下降，但計算出整體暈眩恢復指數值仍偏高。受試者 E 暈眩期間最低暈眩

恢復指數到 7，檢視訓練過程，此次受試者僅能站立至傾斜角度 30 度，且兩分鐘內即達嚴重暈眩程度 PS 4，造成指數數值偏低，也證實暈眩恢復指數演算法的正確性。此外，本直立暈眩復原指數演算法之演算基準包含復原後與嚴重暈眩時，每個傾斜角度的血氧濃度值，是從先前研究有限的受試者樣本中得出的平均基準值來當作資料庫，^[7]其受試者數據不足以完全代表脊髓損傷直立性暈眩的表現，也有兩次訓練發生暈眩期間指數最高值高過復原後的指數值，但從本研究整體結果來看，暈眩復原指數演算法仍顯示出極具發展的潛力，正確性也經本研究結果所證實。因此本研究直立暈眩復原指數演算法仍有修正空間，未來如加入暈眩發生所佔時間之加權與暈眩程度(血氧濃度下降程度)之加權，加上更大量的脊髓損傷病患數據，相信將可以進一步修正暈眩復原指數演算法，以增進判斷可信度。此外，加入更多的訓練數據，可進一步研究暈眩復原指數與復原所需訓練時程的關連性，期望能提供傾斜床訓練最有效率的復原時程與安全性，作為未來發展傾斜床自動訓練回饋系統的競爭優勢。

結 論

本研究提出直立暈眩復原指數的評估方法，證實可提供脊髓損傷病患在傾斜床訓練期間，能定性與定量顯示直立暈眩復原的變化，且能有效評估直立暈眩復原的情況，應能提供醫護人員於脊髓損傷病患傾斜床訓練時，安排復原時程之量化依據，也可據此將脊髓損傷病患的復健運動計畫做更精確的規劃。

致 謝

本研究接受行政院國家會補助，計畫編號為 NSC90-2213-E-033-056 及 NSC91-2614-E-038-004，在長庚紀念醫院復健部的支持下，取得測試病患之資料，作者於此一併致謝。

參考文獻

1. Johnson RH, Park DM. Effect of change of posture on blood pressure and plasm renin concentration in men with spinal transections. *Clin Sci* 1973;44:539-46.
2. Engel P, Hildebrandt G. Long-term studies about orthostatic training after high spinal cord injury. *Paraplegia* 1976;14:159-64.
3. Gonzalez F, Chang JY, Banovac K, et al. Autoregulation of cerebral blood flow in patients with orthostatic hypotension after spinal cord injury. *Paraplegia* 1991;29:1-7.
4. Mukai S, Hayano J. Heart rate and blood pressure variabilities during graded head-up tilt. *J Appl Physiol* 1995;78:212-6.
5. Wall BM, Runyan KR, Williams HH, et al. Characteristics of vasopressin release during controlled reduction in arterial pressure. *J Lab Clin Med* 1994;124:554-63.
6. Sampson EE, Burnham RS, Andrews BJ. Function electrical stimulation effect on orthostatic hypotension after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81:139-43.
7. Liu DS, Chang WH, Wong AM, et al. Relationships between physiological responses and presyncope symptoms during tilting up in patients with spinal cord injury. *Med Biol Eng Comput* 2008;46:681-8.
8. Cariga P, Ahmed S, Mathias CJ, et al. The prevalence and association of neck (coat-hanger) pain and orthostatic (postural) hypotension in human spinal cord injury. *Spinal Cord* 2002;40:77-82.
9. Schatz IJ. Orthostatic hypotension. II. Clinical diagnosis, testing, and treatment. *Arch Intern Med* 1984;144:1037-41.
10. Olaf BP, Svend S, Lars E. Cerebral autoregulation. *Cerebrovascular Brain Metab Rev* 1990;2:161-92.
11. Lipsitz LA. Orthostatic hypotension in the elderly. *N Engl J Med* 1989;321:952-7.
12. Paul S, Zygmunt D, Haile V, et al. Chronic orthostatic hypotension. *Compr Ther* 1988;14:58-65.
13. Schatz IJ. Orthostatic hypotension. I. Functional and neurogenic causes. *Arch Intern Med* 1984;144:773-7.
14. Ficoni SF. Cardiovascular and hemodynamic responses to tilting and to standing in tetraplegic patients: a review. *Paraplegia* 1984;22:99-109.
15. Illman A, Stiller K, Williams M. The prevalence of orthostatic hypotension during physiotherapy treatment in patients with an acute spinal cord injury. *Spinal Cord* 2000;38:741-7.
16. Houtman S, Colier WN, Oeseburg B, et al. Systemic circulation and cerebral oxygenation during head-up tilt in spinal cord injured individuals. *Spinal Cord* 2000;38:158-63.

The Recovery Index of Oxygen Saturation from Orthostatic Syncope in Patients with Spinal Cord Injury

David S. Liu,¹ Alice M. K. Wong,² Shih-Ching Chen,³ Kang-Ping Lin,⁴
Chien-Hung Lai,^{1,3} Walter H. Chang¹

Departments of ¹Biomedical Engineering, and ⁴Electrical Engineering,
Chung Yuan Christian University, Taoyuan;

²Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Lincou Chang Gung Memorial Hospital,
Taoyuan;

³Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Taipei Medical University Hospital, Taipei.

Orthostatic hypotension (OH) is a common clinical problem for patients with spinal cord injury (SCI) at the cervical or high thoracic level when they move from the supine position to the upright position. Patients with severe SCI frequently suffer from symptoms of OH during head-up tilt, ranging from slight lightheadedness to full syncope. Tilt-table training is commonly used in clinical physiotherapy to overcome OH syncope, but this also relies on carefully manual control of the tilt angle and training time by the therapist during training. Up till now, it still has no method to estimate the recovery process of OH syncope.

Therefore, in this study we attempted to use the oxygen saturation (SpO₂) responses during tilt table training in patients with SCI to estimate the recovery index of orthostatic syncope. This study collected 8 SCI patients with American Spinal Cord Injury Association (ASIA) grade A. All SCI subjects had a recent history of presyncope symptoms in the early stages of tilt-table training. The SCI patients were trained when they had recovered from any symptoms and had experienced all tilt angles. Before training, subjects were given a 10-min recovery period in a supine position, and then measurements were made at tilt angles of 0, 30, 45, 60, and 75 degree for 6 min each, once per day. All subjects were trained using the same protocol. If the subject appeared discomfort or experienced severe symptoms, training was terminated and the tilt angle was turned back to supine. The recovery condition is designed that patient finish two continuous times of tilt table training without any syncope symptoms. The recovery index from orthostatic syncope was defined as the ratio of the difference between the measured SpO₂ and the mean value of SpO₂ in the lowest presyncope symptoms and the difference between the recovered value of SpO₂ and the mean value of SpO₂ in the lowest presyncope symptoms. We tested following hypotheses: (1) that the recovery index can present the recovery process of OH syncope; and (2) that there were significant difference between the training before recovery and training after recovery.

The result showed that the presyncope symptoms in 8 patients occurred from the tilt angle of 45 degree at initial training to the training before recovery, and the levels of presyncope symptoms of patients recovered from level 4 to level 1 (no symptom). The recovery indexes had the same trend as the changes of presyncope symptoms during the tilt table training. When the patients suffered from orthostatic syncope (n=53), the recovery index distributed over the range from 26±15% to 68±19%. When the patients had recovered from orthostatic syncope (n=20), the recovery index distributed over the range from 81±9% to 95±6%. All 8 patients had significantly recovered from the mean recovery index of 50±22%, by which patients were syncope existence to the mean value of 88±10%, by which patients had no symptoms ($p<0.05$).

We suggested that this recovery index of oxygen saturation was an effective method to estimate whether patients recovered from orthostatic syncope during the rehabilitation, and the recovery index could offer the therapist to design the appropriate rehabilitation training. (Tw J Phys Med Rehabil 2009; 37(4): 227 - 234)

Key Words: spinal cord injury, tilt table, orthostatic syncope, oxygen saturation

Correspondence to: Prof. Walter H. Cheng, Department of Biomedical Engineering, Chung Yuan Christian University, No. 200, Chung Pei Road, Chung Li City, Taoyuan County 320, Taiwan.

Tel : (03) 2654503 E-mail : whchang@cycu.edu.tw