

未來步兵戰士-外骨骼機器人



作者簡介：

廖駿彥少校，國防大學理工學院 84 年班，後校正規班 3 期，曾任排長、連長、後勤官、動員官，現任步兵學校特業組教官。

提要：

- 一、現代士兵裝備越來越多，使負重也越來越大，長時間負重行軍後，士兵體力消耗非常大。然而。士兵外骨骼技術裝備的出現將改變這一現狀，它提供外力來滿足人對機動性和支撐性的需要，可增強士兵們的體力和耐力，使得他們能完成常人體力無法完成的超負荷任務。
- 二、外骨骼，現在被更多的聯繫到「超級裝」或用於擴充或增強一個人的生理機能的系統。他們幫助一個人舉起或攜帶較重的負荷，跑的更快，跳的更高。在軍事上，外骨骼將幫助步兵更好地進行戰鬥，因為他可以得到更好的保護，攜帶更多的武器和裝備，並具有比正常人更強的體能。
- 三、美國國防部制定了『增強人體機能的外骨骼』項目的計劃，該計劃準備研製出一種機器骨骼，可幫助負重的士兵輕鬆地行走，以提高部隊的機動能力和戰鬥能力。
- 四、未來我國可考慮先行開發機器人輔具，待民間企業的設計更為成熟後，再依照軍方需求打造屬於我國的未來步兵戰士。

壹、前言

外骨骼機器人(Exoskeleton Robot)是指套在人體外面的機器人，也稱「可穿戴的機器人」。外骨骼本來是指昆蟲或甲殼類動物身體外表的骨骼，具有支撐和保護作用。很早

就有科幻小說提及穿戴在人體外表、具備動力的特殊裝甲，藉以提高人類的戰鬥力（例如電影「鋼鐵人」系列），這樣的裝備即被稱作外骨骼機器人。理想中的外骨骼機器人能夠對使用者提供防護並增強使用者的負重相運動能力，最好還可以飛行。在外骨骼機器人研製方面，美國、日本頗見成效。

現代士兵的裝備越來越多，使士兵的負重也越來越大，長時間負重行軍後，士兵的體力消耗非常大，很難再有足夠的體力投入戰鬥。然而。士兵外骨骼技術裝備的出現將改變這一現狀，它能夠提供外力來滿足人對機動性和支撐性的需要，可增強士兵們的體力和耐力，使得他們能完成常人體力無法完成的超負荷任務。¹而步兵已逐漸邁向機械化之際，但仍免不了需要下車作戰，而沈重的個人武裝不但影響行動力，同時也是對士兵身心極大的考驗（例如美軍研究發現，經長期負重後有 30% 的士兵會產生慢性背部傷害²），如果未來外骨骼機器人能實際應用，相信對提升作戰效能有莫大之助益，故作者以此為題進行了研究，希望能為未來建軍提出另一角度的觀點俾供參考。

貳、外骨骼機器人發展緣起

科幻電影綠巨人浩克的故事源自於美國暢銷漫畫，當力大無窮又可傷口自癒的浩克，在美國自私將領緝拿的過程中成就其英雄角色。然而現實生活中浩克尚未出現，但在國防領域中已經出現類似的大力士科技，不過它並非透過基因改造而成，只是運用機械與軟體科技。美國陸軍一直在尋求解決部隊擔負更多裝備重量的問題，這項需求帶動美國國防先進研究計畫署（Defense Advanced Research Projects Agency，DARPA）的外骨骼計畫。

具有動力的外骨骼計畫簡單地說就是穿戴式機器人，可以在惡劣環境下，諸如戰場中協助與保護穿戴者作戰，也可在建築物倒塌現場擔任救災任務。³以科技發展趨勢而言，發達國家的陸軍對抗已在技術裝備層面實現了「發現=摧

¹ 孫成祥，〈美國洛馬公司最新研製的士兵外骨骼技術裝備〉，《兵工科技雜誌》，2009 年 5 月，頁 31。

² 〈Eythor Bender 展示人形外骨骼〉，<http://www.myoops.org/main.php?act=course&id=2311>。

³ 〈美軍穿戴式機器人，強化單兵作戰負重〉，<http://tw.myblog.yahoo.com/sunponyboy-IDF/article?mid=28133&prev=28136&next=28132&l=d&fid=19>

毀」，即坦克、裝甲車、火炮之類的重武器已到了被發現即被擊中，被擊中即被毀的程度，這使得步兵的作用被無形中放大，因為他們遠比大型裝備容易隱蔽。如果讓步兵具備機械化平臺的機動能力、運載能力和一定的防護能力，步兵的戰鬥力將變得空前強大。要解決這一難題，使用外骨骼機械打造「機械戰士」是個不錯的想法。⁴在軍事上，外骨骼將幫助戰士更好地進行戰鬥，因為他可以得到更好的保護，攜帶更多的武器和裝備，並具有比正常人更強的體能。⁵

參、外骨骼機器人之發展

一、外骨骼機器人定義：

外骨骼是一種能夠提供對生物柔軟內部器官進行構型，建築和保護，一般是把蝦、蟹、昆蟲等節肢動物體表堅韌的幾丁質的骨骼稱為外骨骼，它有保護和支持作用，例如蝦是典型的外骨骼生物，擁有堅硬的外部結構（如圖一）。

圖一：蝦是典型的外骨骼生物



資料來源：<http://baike.baidu.com/view/738973.htm>

經過不懈研究，科學家已研製出很多性能卓越的外骨骼，幫助有需要的人更有效地打理他們的日常生活和工作⁶。所謂的動力外骨骼就是 powered exoskeleton。其特點就是穿在或套在人類軀體之外，自有動力驅動各個關節，根據人體肢體活動通過感應、伺服、驅動裝置使相應部位的機械產生相同動作的設備。目的是在速度、力量、耐力等方面用機械動力提

⁴ <外骨骼機械給步兵帶來福音>，<http://bbs.tiexue.net/bbs32-0-1.html>

⁵ <http://baike.baidu.com/view/738973.htm>

⁶ 同註4。

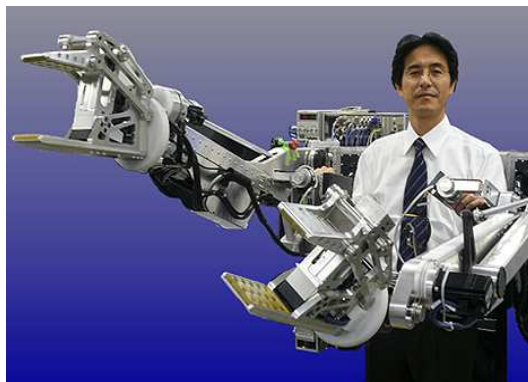
升人類運動能力。有簡單的方法區分：如果有人形大小的駕駛艙，則被稱作機甲；如果整套裝備是穿在身上的，則被稱為動力外骨骼。然而，科學家們對這方面進行了更加廣闊的拓展。

外骨骼現在被更多的聯繫到「超級裝」或用於擴充或增強一個人的生理機能的系統。他們幫助一個人舉起或攜帶較重的負荷，跑的更快，跳的更高。在軍事上，外骨骼將幫助步兵更好地進行戰鬥，因為他可以得到更好的保護，攜帶更多的武器和裝備，並具有比正常人更強的體能。外骨骼技術是人類迫切希望提升個體能力的產物，它來源於生物學中的外骨骼概念，例如軟體動物的介殼，蝦、蟹、昆蟲等的甲殼等。其實，古代士兵的盔甲就是最早的外骨骼，它能有效提升個人的防禦能力。而今天，結合了機械電子、控制、生物、傳感、資訊融合、材料等技術的外骨骼技術更是得到前所未有的快速發展。

二、外骨骼機器人分類

目前外骨骼機器人系統大致可以分為兩類，一類是控制型，一類是增力型。控制型外骨骼主要將人的靈活控制能力傳遞給智慧型機器人，應用於人類不能直接到達且控制極為複雜的機器人控制領域（如圖二），例如：對核反應爐的操作，對空間機器人的人機耦合控制，對深海機器人的控制等極端環境下的控制等，國內外都有相關研究。

圖二：日本科學家展示機器人手臂



資料來源：<http://i.mtime.com/afanti/blog/6238424/>

增力型外骨骼機器人則主要應用在肌力增強、運動康復（如圖三）和國防軍工等領域。

圖三：以色列的半身麻痺患者利用外骨骼站立



資料來源：<http://robotam.com/a/news/2011/0508/6122.html>

三、外骨骼機器人的軍事與和平用途

以科技發展的現狀和趨勢而言，比較先進的國家之間對抗時，裝甲車之類的目標可以說是一經發現即被擊中，破擊中後或毀或傷。體積遠遠小於裝甲車的步兵顯然比較易於隱蔽，但視野遠小於裝甲車，且人員的彈藥攜行能力和全速行進持久力明顯落後，如果使用外骨骼機器人則可以很好地解決這一問題。

美國目前計劃的外骨骼軍用機器人要求具有攜行質量為 21 公斤的個人護具、100 公斤以上的武器及彈藥等物品的能力，自備能源可使用 24 小時，持續行軍速度至少每分鐘 300 公尺，甚至達到每分鐘 400 公尺以上。

穿戴外骨骼機器人助力的步兵只要有足夠的電源，長途行軍之後仍然能夠很快地挖掘更多、更深的工事。為了幫助士兵在陌生環境下準確、快速抵達地點並了解周圍敵我情況，軍用外骨骼機器人將會安裝 GPS、夜視裝備等。更先進的型號甚至有可能按照指令或自行判斷，將負傷或失去知覺的士兵自行送到友軍後方醫護地點。目前正在研究的課題之一是，外骨骼機器人允許友軍隨穿隨用，同時還能阻止敵軍利用。

如果軍用外骨骼機器人技術成熟，步兵的作戰效能將會大幅提升，高速行軍的步兵將會再度在戰場發揮重大作用。就地震之類的救災而言，如果有了外骨骼機器人，其作用不言而喻。想像一下，一個人就能舉起 100 公斤甚至 180 公斤的石塊、混凝土板塊，而且 24 小時連續工作也不會感到疲勞，這樣的救災隊伍可以高出正常人好幾倍的效率在狹小的空間內清除廢墟或者清除道路上的障礙物，這將在救災現場起到怎樣的作用；如果使用行軍時速 20 公里，能夠在夜間精確定位，負載 100 公斤以上的外骨骼機器人，投入一個排就能單次運輸 4000 公斤以上的物資，且不受天氣、缺乏著陸點等因素影響，這將是怎樣的工作效率！

如此看來，即使初期成熟的外骨骼機器人不足以用於戰鬥，美軍也會將其用於後勤任務，例如搬運和裝卸物資、為戰鬥機掛彈等可以使用外部能源長時間工作的任務。⁷

四、未來待克服限制

雖然經過幾十年的發展，已經出現形形色色的外骨骼系統，人們還不能指望外骨骼目前就能在殘疾病人中普及，或者馬上就能用於戰場。

外骨骼技術走向實用仍然有很多障礙需要跨越。首先，外骨骼需要具有良好的可穿戴性，因此外骨骼機器人的機械結構和自由度分佈應與人體運動關節結構和自由度相匹配，同時還可非常方便地根據不同穿戴者的體形和身材進行調節。

其製造材料也要輕便，但必須具有足夠的強度和韌性，同時不會影響穿戴者的健康。外骨骼機器人的驅動器應滿足體積小、輕便、低功耗、大功率輸出等要求，同時具有回應快、低慣性、高精度和高安全性等性能。為了實現柔性外骨骼設備的可移動性，需要體積小、重量輕、效率高、清潔環保的新型配套能源技術。

⁷楊曉紅，〈可穿戴的機器人-外骨骼機器人最新發展〉，《輕兵器雜誌》293 期，2009 年 4 月，頁 13。

而且，要實現整個外骨骼系統的柔順控制，需要快速的資訊傳感技術獲取所需的控制資訊，並對多資訊進行高效快速融合，發出控制指令。需要尖端的人機耦合介面技術，實現操作者和外骨骼之間的資料和資訊雙向傳遞，在感知層和執行層分別實現人和機器的統一。需要研究基於「人機一體化」思想的控制策略，研究人的智慧在整個控制系統中的作用，充分考慮人在整個控制環中的影響，建立全新的人機智能系統控制理論。建立人與外骨骼之間任務的合理分配規則研究，根據人和外骨骼各自的優勢，進行任務分配。

因此，外骨骼系統的實現與機器人技術、機電工程、微能源技術、微驅動技術、材料技術和控制技術等學科的發展密切相關。隨著這些技術的發展，外骨骼機器人研究關鍵技術的突破，人們將會在太空站、深海載人潛水器遙控操作，單兵作戰和武器輸送，復健運動和輔助日常活動等多種場合見到外骨骼機器人的身影。⁸

肆、各國發展現況

一、美國

美國陸軍與陸戰隊發現士兵背負過重裝備會造成多骨骼性傷害導致戰力減退，特別是在阿富汗高山地形中攜帶全部裝備運動，長時間來說很難不對士兵的身體造成影響。2000年，美國國防部制定了「增強人體機能的外骨骼」項目的計劃，該計劃準備研製出一種機器骨骼，可幫助負重的士兵輕鬆地行走，以提高部隊的機動能力和戰鬥能力。未來士兵裝備外骨骼技術後，將成為一名超級士兵，擁有無窮的力量，可攜載更多的武器裝備，火力威力得到增強，防護水平也得以提高，同時可克服任何障礙，高速前進，還不會產生疲勞感⁹。在2001年，

⁸ 科學時報，〈把機器人穿在身上〉，<http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2011/1/240616.html?id=240616>

⁹ 〈外骨骼單兵裝備技術研制突飛猛進〉，<http://tech.big5.enorth.com.cn/system/2008/10>

美國國防部高級研究計畫局（ DARPA ）決心要克服外骨骼的發展上的技術問題。DARPA 撥出 5000 萬美元用於為期 5 年的的用以軍事用途的外骨骼專案開發工作。¹⁰

（一）HULC

2009 年美國洛克希德·馬丁公司下屬的伯克利仿生科技公司展出了一種先進的機械外骨骼技術裝備，其計畫稱為人體通用負重運載機（HULC），中文諧音亦為浩克。HULC 是一種模仿人體結構特點設計的外穿型機械骨髓（如圖四），主要由背包式外架、金屬腿及相應的動力設備組成，使用背包中的箱式液壓泵和液壓傳動係統作為能量來源，以通過外力全面增強人體機能。從外形上看，外骨骼技術裝備類似於一副人體骨骼支架，上半部分穿戴在人體肩部固定，下半部分別穿戴於腳上固定，中間有弧形支架套於人體腰間起輔助固定作用，選擇當背負物體時，上半身的負重就傳遞到下半身的金屬腿上，並最終通過金屬腿傳遞到地面。因為上本身的負重主要通過腿部支撐件傳遞到地面，因此外骨骼技術裝備的核心就是下半身的腿部結構，腿部支撐件具有和人體腿骨一樣的結構，為了便於活動，在髓部、膝關節部、腳腕部分設計了像人體骨骼的那樣的活動關節，而且為了保證強度，腿部支撐件由鈦合金製成。¹¹

圖四：HULC 在山區進行試驗



資料來源：<http://www.uwants.com/viewthread.php?tid=8955475>

/08/003708438.shtml

¹⁰ <http://baike.baidu.com/view/738973.htm>

¹¹ 孫成祥，〈美國洛馬公司最新研製的士兵外骨骼技術裝備〉，《兵工科技雜誌》，2009 年 5 月，頁 31。

在穿戴 HULC 後，士兵不僅可以攜帶重物自由行走（如圖五），還可以蹲在掩體後面射擊，或背負重物高速跑動。目前士兵作戰時最多攜帶或穿戴 60 公斤重戰鬥裝備，相較於此，浩克系統可以承載至多 91 公斤，並以每小時 16 公里移動，浩克是由在士兵背負機器的腰部具有四顆鋰鐵電池所驅動，運用時間長達 48 小時。整具浩克系統是摺疊在包裹中，展開後士兵就像穿褲子般，踏入靴墊，再將大腿、腰部與肩部綁緊。靴內的感測器會將感覺傳至機器的微電腦，透過液壓系統強化放大穿戴者的運動。

整個系統的彈性允許士兵可以跑、跳、跪、走和爬，甚至蹲著走。如果穿著它會妨礙其他動作，也可以在三十秒左右脫下來、迅速排除障礙。未來浩克可與防彈背心或多個感測器結合，提供士兵在作戰時較佳的環境警覺。此外，洛馬公司也在探索應用於工業與醫療的外骨骼設計。

圖五：HULC 進行搬運重物試驗



資料來源：<http://www.uwants.com/viewthread.php?tid=8955475>

（二）XOS

雷神公司與沙科士公司（Sarcos）合作，推出 XOS 外骨骼機械盔甲計畫（如圖六），該系統以纜線連結方式，從外部獲得動力來源，如丙烷、氫氣、汽油甚至柴油，再利用伺服閥控制液壓系統，配合感測器與微處理器，使得 XOS 可以迅速偵測到身體關節的動作，決定應有的動作，如同洛馬公司的浩克也是可以承載

91 公斤，對穿戴者也是感覺約為四公斤。雷神公司希望能發展自我發電的動力系統，以提供穿戴者在休息時能儲存電力。

XOS 擁有最大的動力重量比或是扭力重量比，其動力來源有兩種選擇，包括電力驅動與內燃機纜線連結驅動，不過，雷神公司希望將來能製成動力背包方式，給與穿戴者更大的行動便利。對於雷神公司 XOS 而言，第一代著眼於研究人因工程，第二代 XOS 2 將著重於動力與使用性，未來第三代 XOS 3 則是製成機械盔甲系統，更能變為具有成本效益的產品。XOS 3 將可阻絕沙塵與雨水，是由模組化鋁合金或複合材料製成，遮避現有露出外面的液壓管路。2010 年，美軍發佈了一款 XOS 外骨骼機械盔甲，其重量為 195 磅，是由美國雷神公司防禦系統製造的，預計將在未來 5 年內用於軍事操作。

圖六：士兵穿著 XOS 外骨骼機械盔甲作俯地挺身動作



資料來源：http://www.hottx.net/discovery/kjqy/20113/100453_1.html

二、日本

日本在研製機器人方面有很好的基礎，世界上大約一半的工業機器人都出自日本。日本已經有了外觀類似 XOS 的全身式商用外骨骼機器人。築波大學的山海嘉之教授創立的賽百達因（Cyberdyne）公司研製出混合助力肢體（HAL）外骨骼機器人。其第五代產品 HAL-5（如圖七）在 2005 年亮相愛知世界博覽會並引起廣泛關注，並被美國《時代》雜誌評為 2005 年最佳發明。HAL-5 是一款半機器人，擁有自我拓展和改進功能。它裝有主

動控制系統，肌肉通過運動神經元獲取來自大腦的神經信號，進而移動肌與骨骼系統。HAL(混合輔助肢體的英文縮寫)可以探測到皮膚表面非常微弱的信號。動力裝置根據接收的信號控制肌肉運動。

HAL-5 是一款可以穿在身上的機器人，高 160 公分，重 23 公斤，利用充電電池(交流電 100V)驅動，工作時間可達到近 2 小時 40 分鐘。HAL-5 可以幫助佩戴者完成站立、步行、攀爬、抓握、舉重物等動作，日常生活中的一切活動幾乎都可以借助 HAL-5 完成。HAL-5 裝有混合控制系統，所有驅動裝置、電腦和動力供應設備都裝在背包中，電池掛在腰部，是一個可穿戴的混合控制系統，可以調整使用者的行動姿態，讓使用者感到舒適。¹²

HAL-5 有兩套控制系統，其中一套不使用力傳感器，而是使用貼附在人體皮膚上的電極檢測微弱的生物電流來判斷使用者想要出力的方式。另一套控制系統可以記憶並模仿使用者的動作特點，例如某一條腿比較無力，這樣可以更密切地配合使用者，也可以解決某些人生物電流較弱的問題。事實上，該裝置的部件若進行強化軍標處理，完全可以應用到軍用領域¹³；HAL-5 於 2008 年 10 月開始生產，年產量 500 套。

圖七：日本的 HAL-5 外骨骼機器人



資料來源：<http://w.hudong.com/f26e5c128b814c0ea5c40e2c5a511bac.html>

¹²楊曉紅，〈可穿戴的機器人-外骨骼機器人最新發展〉，《輕兵器雜誌》293期，2009年4月，頁13。

¹³ <世界十大機器外骨骼>，<http://w.hudong.com/f26e5c128b814c0ea5c40e2c5a511bac.html>

三、以色列

以色列阿爾戈醫療技術公司發明一種「機器人長褲」，這種仿生的機器人設備可以輔助截癱者站立、行走，甚至爬樓梯。這副「機器人長褲」是綁在截癱者腿上，因此爬樓梯也不是難事。由以色列的阿爾戈醫療技術發明的「再行走」(ReWalk) 機器人設備首次在英國伯明罕國家展覽中心的 Naidex 產品交易會上亮相。

這個先驅性的仿生裝置旨在引入英國作為受傷士兵的首選輔助設備。作為使用者的外骨骼，它帶有電腦化的發動機能夠保持機器直立，在沒有別人幫助下能夠實現上樓梯(如圖八)。這個複雜的系統將幫助截癱人，包括從伊拉克和阿富汗回來的受傷士兵，更好的生活。這個技術已經被義大利某專業脊椎損傷單位投入使用，隨後將進行廣泛的測試。這個設備完全互動，將給予使用者的行動前所未有的自由，以及對於外骨骼移動的完全控制。該系統預計明年初投入市場，價格在 5 萬英鎊。

圖八：「再行走」外骨骼機器人



資料來源：<http://robotam.com/a/news/2011/0508/6122.html>

伍、未來發展趨勢

軍事專家預測美軍未來作戰時的人力將逐步遞減，至2015年美軍在戰場上將只剩一半「真人」，另一半將是「機器人」¹⁴。美軍認為未來機器人要形成有效戰力，必須將武裝機器人及其操作人員納入單位組織編裝內，才能發揮戰力。

在未來我國可考慮先行開發機器人輔具，待民間企業的設計更為成熟後，再依照軍方需求打造屬於我國未來步兵戰士的外骨骼機器人，故作者就個人看法提出外骨骼機器人未來發展需求條件：

一、視力更敏銳

除了正常的視野，士兵需要在透明的面甲上接收合成的圖像，在其幫助下，士兵將可以看見肉眼不可見的物體，例如深夜中，通過敵人身邊散發的熱量發現他們，等於將夜視器材整合於頭盔之中，而毋須另外裝設。

二、簡便的遙控裝置

通過簡易的遙控按鈕，士兵可以變換視野，束緊或放鬆使其與外骨骼相連的自動束帶，完成嵌入或卸下人工手等一系列的操作，也就是將操作程序簡單化，操作方式毋須像操作飛機般繁複，使士兵更易入門操作。

三、多元化、多功能機械組合模式

為了應付複雜的戰場環境，必須配置多功能機械組合模組，可以嵌在外骨骼手臂的頂端。這些不同類型的「機械手」有著不同的形狀，以完成各項任務。例如鉤形的用於提起重物，較細緻的機械手指則可以應付一些修理工作。此外可開發不同用途之機械手臂，例如構築工事用的挖掘手、搬運重物的機器夾手、作戰用的機槍手。

四、滿載能量的背包

外骨骼機械攜帶的能源必須能夠維持24小時的工作，必須重量輕，而且工作時無聲。背包中將放置電池，以供給外骨骼運行所需的能量。電池將在每次行動前充電，但士兵在使用外骨骼時也可以進行充電，如將

¹⁴ 〈美軍機器人取代一半真人上陣〉《青年日報》（台北），民國98年2月10日，版6。

行走的能量轉化為電力。這很符合當前的理念，在加拿大的一家公司已開發出將把一種配備了發電機的護膝投入市場，只要行走就可以使發電機運行，從而連續不斷的產生電流，在材料不斷進步的現在，例如最熱門的太陽能電池材料，我國已有建廠，可結合民間工業共同投資開發更輕、更薄的太陽能電池，使機器人的續航力大為提升，延長作戰效能。

五、防彈保護增強

外骨骼機械必須使用堅固、輕型且有彈性的材料。這種材料必須能夠保護穿戴者。士兵的軀幹、手臂和腿部都將由全新材料製成的戰甲保護。

六、機動力-擁有長跑運動員的腳踝

外骨骼機械必須能夠同步跟隨使用者的動作，能夠加強使用者的力量並模仿人類的各種動作，包括戰場上的前後左右移動躲閃。目標是讓使用者背負更大重量的同時仍能跑得快、跳得遠。動作必須流暢、高效且完全無聲。這些高科技腳踝裝有輔助動力裝置，在每次跨步時都能提高腳趾在地面的推力。由於這種「彈簧效應」，士兵能以每小時 12 公里的速度長途奔跑，而不會感到過度勞累。

七、背負力-背負式擔架

除了考慮背負裝備外，可以在士兵臀部上方裝有一塊通常垂直放置的板，它可以翻到水平方向。這樣外骨骼的使用者就可以幫助受傷的戰友，只需讓傷員跨坐在這種可攜式擔架上，就可以將他帶到遠離敵人火力的安全地帶。¹⁵

八、其他可能發展重點

（一）持續開發更合適之新材料

外骨骼機器人需要具有良好的可穿戴性，因此外骨骼機器人的機械結構和自由度分佈應與人體運動關節結構和自由度相匹配，同時還可非常方便地根據不同穿戴者的體形和身材進行調節。例如像碳纖維、鈦合金等材料具輕便、足夠的強度和韌性（但可能製造成

¹⁵ <超級戰士（外骨骼戰士）>，<http://www.cnfmp.net/bbs/viewthread.php?tid=16989>

本昂貴)，同時不會影響穿戴者的健康等特點有可能被採用，以減輕外骨骼機器人的體積，達到輕便、靈活運動之目的。故開發出合適又符合經濟效益之材料亦是未來所趨。

(二) 重視人機互動介面

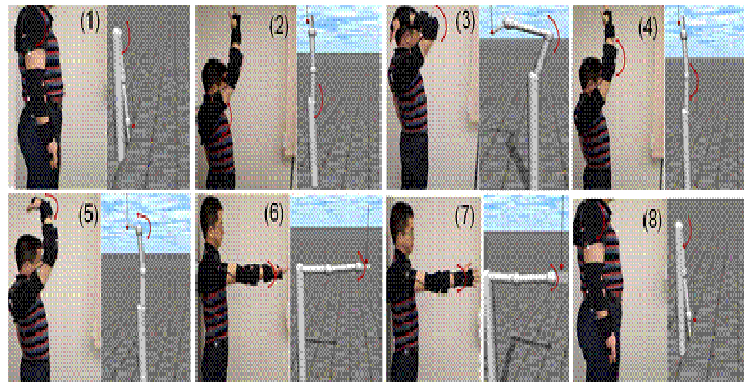
由於電子資訊與通訊科技的進步，近年來已經陸續有許多的服務性機器人被開發出來，應用於導覽、娛樂等方面。這些服務型機器人與人們在日常生活中互動頻繁，因此在人機互動的設計上需要更加的安全、友善並且容易操作。人機互動的技術及著重於設計開發各種機器人與使用者間之介面與溝通硬體與軟體。人類的心理情緒、生理反應都是最直接、直覺的行為，因此，人機互動方式除了傳統的觸控、語音外，如何透過辨識手勢、表情、生理訊號等傳達人類生理狀態、心理狀態的訊號作為人機溝通的訊號，將是一發展重點。近幾年來，機器人技術進展快速，國內外已有許多智慧型機器人被研發出來，屆時此類技術更臻成熟時便可應用於外骨骼機器人，讓使用者更能輕易上手而駕輕就熟，有助於工作效能提升。

(三) 應用於模擬訓練

新加坡南洋理工大學的機器人研究中心利用光學線性編碼器製作出可感測人體關節角度之微型感測器，製作出一套人體動作感測的智慧衣，應用發展成一套虛擬實境復健訓練系統（如圖九）¹⁶。未來可先開發出結合模擬訓練用之外骨骼機器人，應用於士兵接戰訓練，使學員更具真實感，以提升訓練成效；同時可針對肢體運動訓練紀錄數據，得到接近真實動作之資料，也能使外骨骼機器人在戰場上的運動上更有效率。

¹⁶李明義、蔡文偉、孫國順，〈體感測網路研發現況與外骨骼機器人之整合應用〉，http://www.robotworld.org.tw/index.htm?pid=10&News_ID=4527

圖九：新加坡南洋理工大學的虛擬實境訓練系統實驗圖



資料來源：http://www.robotworld.org.tw/index.htm?pid=10&News_ID=4527

（四）廣泛應用於醫療用途：

目前發展外骨骼機械系統之起因在於幫助老年人和肢體障礙者（如作戰傷殘軍人）處理行動問題，並不單只為了幫助其生活，更可以節省社會整體醫療成本；由於近年來少子化的影響，以及因醫療科技的發達使得人類平均壽命延長，現在絕大多數先進國家已邁向高齡化社會，人口老化問題日趨嚴重，如果有器具可以輔助老年人，讓他們可以自己活動、生活以及保護他們的安全，將可為社會有效利用珍貴的人力資源與醫療成本。而民間已有可應用於上肢體（如圖十）或下肢體的外骨骼輔具，待外骨骼技術發展成熟之際，將可促進外骨骼技術更深入應用於軍事科技領域。

圖十：日本公司推出的充氣式外骨骼手臂



資料來源：<http://w.hudong.com/f26e5c128b814c0ea5c40e2c5a511bac.html>

陸、結語

展望未來，有外骨骼機械助力的步兵只要有足夠動力源，長途行軍之後仍能快速挖掘更多更深的工事。為了幫助士兵在陌生環境下準確快速抵達目的地點並瞭解周圍敵情，軍用外骨骼機械將添裝衛星定位、夜視裝備等。更先進的型號甚至有可能按照指令或經過智慧判斷，將負傷或失去知覺的士兵自行送到友軍後方醫護地點¹⁷。

外骨骼機器人可減少軍事後勤所需要的大量人力，可協助使用者舉起重物，更快速地完成工作。也就是說，使用外骨骼可以使軍方進行人力上的重新調配，執行更具戰略意義的任務。但不只用於軍事，也可以藉著外骨骼來幫助行動不便的人方便行走；或是用於裝配線上提起重物。目前該項領域的發展雖未臻成熟，但可預見未來將會快速的發展，更貼近一般人的日常生活中，可說外骨骼技術裝備的發展前景一片光明，我亦應結合產官學界能量，將民間科技與國防需求相互整合，發展軍用外骨骼機械，以執行高風險戰鬥任務，減少作戰人員傷亡。

¹⁷ 同註 4。