

# La valutazione funzionale tecnologica nella ricostruzione del legamento crociato anteriore di un beacher



Un'azione di gioco di beach volley durante le ultime Olimpiadi, Tokyo 2020.

Il beach volley è una disciplina sportiva che ha ottenuto negli ultimi anni un grande successo nella pratica sia amatoriale sia professionistica. Uno dei motivi della sua diffusione è sicuramente legato alla possibilità di avvicinarsi a tutte le età e di poterlo praticare sia indoor, nelle strutture dedicate e anche nelle stagioni fredde, sia outdoor. Come la pallavolo, il beach volley, essendo **sport di natura intermittente**, presenta un'alta casistica di infortuni a carico di ginocchia, caviglie ma anche

arti superiori, spalle e colonna vertebrale, specie tra gli amatori.

## Il modello prestativo

Il beach volley è uno sport ad alta situazionalità, con uno sforzo aerobico e anaerobico alternato ad alta intensità. Tempo di gioco (totale ed effettivo), di recupero, numero di salti massimali e frequenza cardiaca determinano situazioni molto eterogenee in campo. Inoltre, sono molteplici i fattori che alterano le condizioni e la prestazione del *beacher*:

1. superficie di appoggio;
2. temperatura, specie nella pratica outdoor;
3. luce;
4. vento;
5. situazioni di gioco.

L'atleta compie movimenti esplosivi, ad alta velocità, a intensità massimale o sub-massimale, sia nel salto verticale sia negli spostamenti laterali nelle diverse direzioni che dipendono dal ruolo del giocatore. Proprio per la natura del gesto del *beach* e per le sue specificità, gli **infortuni a carico del ginocchio** risultano piuttosto frequenti e numerosi atleti incorrono nella rottura del Legamento Crociato Anteriore (LCA).

## La rottura del LCA nel beacher

Il ginocchio è un'articolazione che ha principalmente due gradi di libertà:

1. la flessione-estensione;
2. la rotazione interna-esterna.

## Parole chiave

- Biofeedback tecnologico
- Valutazione oggettiva
- Legamento crociato anteriore
- Beach volley
- Riatletizzazione

Il primo predomina in ampiezza sul secondo, il quale può avvenire solamente quando il ginocchio è in posizione di flessione. Date le notevoli forze cui è sottoposta, l'articolazione fra femore e tibia è protetta da due robuste coppie di legamenti, che si chiamano **legamenti crociati** perché si incrociano proprio nella zona di incontro fra le superfici delle due ossa. La loro funzione è complementare a quella dei menischi: servono, infatti, ad aumentare la stabilità articolare, evitando che le due superfici articolari scivolino avanti o indietro, l'una rispetto all'altra. I meccanismi che provocano la **rottura del legamento crociato anteriore** del ginocchio sono solitamente:

1. un rapido cambio di direzione;
2. un arresto improvviso;
3. un atterraggio dopo un salto;
4. un trauma diretto sul ginocchio.

Nello sportivo che subisce tale problematica, la sensazione durante la rottura è quella di uno spostamento all'interno del ginocchio, accompagnato da un *crack* e da una successiva instabilità.

## La valutazione funzionale oggettiva

La valutazione funzionale oggettiva è, da sempre, una parte imprescindibile nell'approccio fisioterapico sportivo. È fondamentale per:

1. conoscere la situazione clinica di partenza dello sportivo;
2. disegnare un percorso riabilitativo adatto alle sue esigenze e utile al suo rientro alla performance in piena sicurezza.

In particolare, la **valutazione della forza, dell'equilibrio statico e dinamico e dei movimenti dinamici/locomotori** risulta essenziale fin dalla primissima fase acuta. La riabilitazione post-ricostruzione del legamento crociato anteriore è un *iter* piuttosto complesso e lungo che merita come tale un'analisi puntuale di tutti i parametri nel tempo per progredire in maniera sicura e adattarsi alle continue esigenze del paziente, specie in merito al carico sull'arto inferiore coinvolto. Vediamo nel dettaglio il caso del *beacher* professionista



autore



## Giulia Tebaldi

• TECNOBODY CLINICAL SPECIALIST.  
• LAUREA IN SCIENZE MOTORIE PREVENTIVE E ADATTATE.

**HANNO COLLABORATO:**  
**VITTORIO GENNARO** (CEO CENTRO EQUILIBRIUM 2.0, PESCARA, LAUREATO IN SCIENZE MOTORIE E FISIOTERAPIA);  
**FRANCHI ANDREA** (CEO CENTRO EQUILIBRIUM 2.0, PESCARA, LAUREATO IN FISIOTERAPIA);  
**GALATI VALENTINA** (DIRETTORE SANITARIO DEL CENTRO, MEDICO FISIATRA);  
**ERICA CALDARELLI** (FISIOTERAPISTA);  
**LORENZO CALABRESE** (FISIOTERAPISTA);  
**ALESSIA BATTAGLIA** (FISIOTERAPISTA);  
**GIUSEPPE COZZI** (CHINESIOLOGO).

Edgaro e analizziamo le diverse fasi del suo recupero post-intervento di ricostruzione del LCA e i test con *biofeedback* tecnologico, utili all'ottimale ripresa dell'attività agonistica dopo l'operazione.

## Valutazione posturale tecnologica statica

Durante la fase acuta è stato eseguito il test di stabilometria a occhi aperti e chiusi (**foto 1 e 2**). Tramite questo test è possibile analizzare la **distribuzione del carico dell'atleta** sia a occhi aperti sia

I test e il training del case report in oggetto sono stati condotti all'interno del Centro Equilibrium 2.0 di Pescara dal dottor Vittorio Gennaro (in foto) e dal suo team di collaboratori, specializzati nel recupero degli sportivi.

abstract

**La rottura del legamento crociato anteriore è uno degli infortuni più diffusi negli sport ad alta situazionalità, quali il beach volley, disciplina che negli ultimi anni ha visto un numero sempre crescente di praticanti. Nell'articolo analizzeremo come la tecnologia e la valutazione oggettiva con biofeedback tecnologico vengano in supporto ai professionisti per definire le strategie di recupero dello sportivo e il ritorno in campo post-intervento, attraverso la tecnologia dei sistemi TecnoBody.**

a occhi chiusi e quindi eventuali compensi posturali. Sono molto importanti:

1. i **dati di area** che il soggetto è andato a coprire al suolo con il suo gomito;
2. la **lunghezza**, espressa dal perimetro.

Entrambi indicano la **stabilità e l'efficienza dell'atleta** a mantenere la posizione statica. Inoltre, per valutare al meglio la condizione del paziente risulta determinante osservare il posizionamento del gomito in X e Y per capire dove ha stazionato mediamente il soggetto. Il test, nel caso di Edgardo, è stato eseguito nella ottava giornata post-operatoria e ha evidenziato un'area e un perimetro del gomito elevati sia a occhi aperti sia (e soprattutto) a occhi chiusi (**tabella A**). Come si può notare dal grafico riportato in **figura 1**, inoltre, entrambi i gomiti

risultano sbilanciati anteriormente e verso l'arto operato (sinistra). Tale comportamento risulta insolito in fase acuta, tuttavia in questo caso si tratta di un **automatismo sport specifico** che porta l'atleta al carico a sinistra nei gesti tecnici di gioco. Una peculiarità del test è la differenza del valore di **retta di regressione** che varia da 26° a occhi aperti a 1° a occhi chiusi. Questo valore indica l'asse principale di oscillazione ottenuto durante la prova, evidenziando un cambio di asse tra occhi aperti e chiusi. Inoltre ciò può essere interpretato come un **mismatch di informazioni sensoriali** tra

occhi aperti e chiusi. Grazie a questa valutazione è stato possibile personalizzare e ottimizzare il primissimo periodo di training proponendo esercitazioni con *biofeedback* in posizione bipodalica. In particolare lavori:

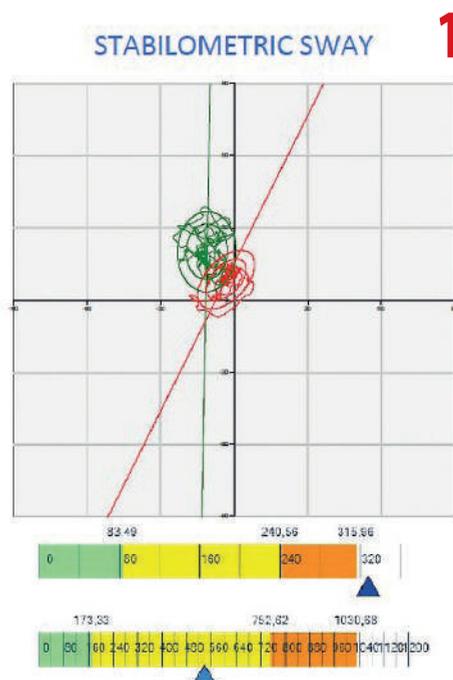
1. su pedana statica in direzione antero-posteriore;

Foto 1 Valutazione posturale statica con test di stabilometria bipodalica a occhi chiusi.  
Foto 2 Valutazione posturale statica con test di stabilometria bipodalica a occhi aperti.



	OPEN EYES 10/18/2021 11:19	CLOSED EYES 10/18/2021 11:20
Result	327,75	537,23
Ellipse area [mm <sup>2</sup> ]	327,75	537,23
Perimeter [mm]	316,08	509,47
Standard deviation F-B [mm]	4,62	6,30
Standard deviation M-L [mm]	4,39	4,53
Average C.o.P. Y [mm]	8,50	20,13
Average C.o.P. X [mm]	-3,08	-11,06
Time [s]	30	30
Average F-B Speed [mm/s]	7,33	11,69
Average M-L Speed [mm/s]	5,73	9,73
Linear regression angle [°]	26	1
C.E. / O.E. area ratio	164 (110 - 250)	
C.E. / O.E. perimeter ratio	161 (110 - 250)	
Trunk standard deviation [°]	0,87	1,08

**A** Tabella A Risultati della stabilometria, comparazione OA/OC.  
**Figura 1** Risultati stabilometria OA-OC.



OPEN EYES  
10/18/2021  
11:19  
CLOSED EYES  
10/18/2021  
11:20

**B**

	OPEN EYES 12/7/2021 11:08	CLOSED EYES 12/7/2021 11:08
Result	302,63	316,78
Ellipse area [mm <sup>2</sup> ]	302,63	316,78
Perimeter [mm]	397,31	444,14
Standard deviation F-B [mm]	5,50	5,08
Standard deviation M-L [mm]	2,95	3,42
Average C.o.P. Y [mm]	42,50	50,52
Average C.o.P. X [mm]	-10,94	-13,09
Time [s]	30	30
Average F-B Speed [mm/s]	10,81	11,65
Average M-L Speed [mm/s]	5,26	6,50
Linear regression angle [°]	-4	-10
C.E. / O.E. area ratio	105 (110 - 250)	
C.E. / O.E. perimeter ratio	112 (110 - 250)	
Trunk standard deviation [°]	0,80	1,59

2. su pedana statica in senso latero-laterale;
  3. su pedana dinamica monoassiale.
- Dopo un mese e mezzo, ripetendo il test possiamo osservare un **miglioramento dei parametri di area e perimetro** soprattutto a occhi chiusi; un dato che ci fa aprire che è migliorata sensibilmente la consapevolezza del soggetto è la retta di regressione che si uniforma tra le due prove OA/OC (**tabella B**). Con l'obiettivo di analizzare il dolore al carico parziale

monopodalico abbiamo somministrato il **test di carico massimo applicato** all'atleta (**foto 3**). Tale prova permette di valutare il carico massimo alla soglia del dolore che il soggetto riesce ad applicare con l'arto lesa in appoggio sulle celle di carico. Estrapolato il **grado di soglia**, è possibile scegliere un percorso terapeutico che tenga conto

Tabella C Test di stabilometria comparata monopodalica destro/sinistro, risultati del primo test.  
**Figura 2** Test di stabilometria comparata monopodalica destro/sinistro, tracce tronco a confronto durante il primo test.

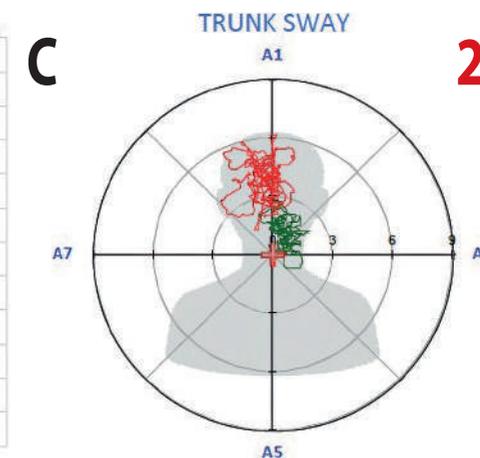
	L 10/20/2021 10:42	R 10/20/2021 10:41
Result	903,59	763,89
Ellipse area [mm <sup>2</sup> ]	903,59	763,89
Perimeter [mm]	1488,10	1125,66
Standard deviation F-B [mm]	9,05	8,08
Standard deviation M-L [mm]	5,30	5,02
Average C.o.P. Y [mm]	34,57	24,05
Average C.o.P. X [mm]	-13,11	10,09
Time [s]	30	30
Average F-B Speed [mm/s]	28,61	17,03
Average M-L Speed [mm/s]	33,63	29,58
Linear regression angle [°]	1	1
Trunk standard deviation [°]	1,15	0,80



Tabella B Il test successivo di stabilometria mostra il miglioramento sia a occhi aperti sia a occhi chiusi.

Valutazione posturale statica con test di stabilometria monopodalica.

dei chili applicati evitando al paziente di arrivare al dolore ma allo stesso tempo di essere allenante e rendere il paziente consapevole e collaborativo. Ripetendo tale test periodicamente è stato possibile identificare il momento in cui il paziente fosse in grado di stazionare in "monopodalica" a carico totale sull'arto lesa senza dolore. Intorno al ventesimo giorno è stato quindi possibile eseguire il **test di stabilometria comparata monopodalica** (**tabella C e figura 2**). Il test viene svolto per valutare la

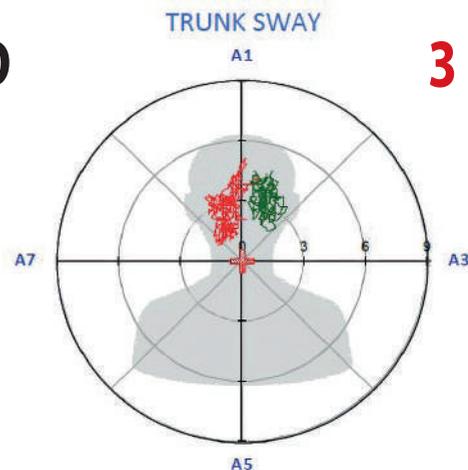


**C**

**Tabella D**  
Test di stabilometria comparata monopodalica destro/sinistro, risultati e miglioramenti visibili nel secondo test.  
**Figura 3**  
Test di stabilometria comparata monopodalica destro/sinistro, il miglioramento delle tracce tronco nel secondo test.

	L 2/7/2022 10:59	R 2/7/2022 10:58
Result	885,44	582,23
Ellipse area [mm <sup>2</sup> ]	885,44	582,23
Perimeter [mm]	1119,19	1232,66
Standard deviation F-B [mm]	8,96	7,06
Standard deviation M-L [mm]	5,25	4,46
Average C.o.P. Y [mm]	22,20	41,45
Average C.o.P. X [mm]	-4,42	-0,50
Time [s]	30	30
Average F-B Speed [mm/s]	22,68	25,23
Average M-L Speed [mm/s]	24,33	26,50
Linear regression angle [°]	-1	-7
Trunk standard deviation [°]	1,01	0,70

**D**



**3**

capacità di equilibrio statico, in posizione monopodalica dell'utente, comparando sia l'esecuzione in carico totale sul piede destro sia sul piede sinistro. I test hanno mostrato una **maggiore instabilità dell'arto operato** sia in termini di area e perimetro sia di controllo del tronco, rispetto all'arto sano. Inoltre, a un'osservazione visiva è stato possibile valutare un atteggiamento in valgismo del ginocchio con un aumento del carico nel margine interno del piede.

Questo test ci ha permesso di personalizzare l'intervento riabilitativo con un lavoro di controllo sui movimenti in tutte le direzioni e parametrizzando a ogni seduta l'instabilità della pedana garantendo, così, un progressivo adattamento neuromuscolare. A distanza di due mesi circa sono stati riproposti i test che mostrano un **progressivo aumento della stabilità** dell'arto sinistro, l'area e il perimetro risultano migliorati, come anche il controllo globale del core e del tronco (**tabella D**). Un dato invece su cui prestare

attenzione è il posizionamento dei due gomitioli (**figura 3**): infatti risultano posizionati in maniera opposta e ciò fa pensare a un ginocchio valgo dinamico. Tale atteggiamento sarà sicuramente oggetto di esercizi mirati tra il terzo e il quarto mese per ristabilire il corretto allineamento ed evitare altro stress alle ginocchia. La metodologia di continuo *follow up* si dimostra quindi efficace nella personalizzazione del percorso riabilitativo e verrà intensificato nella fase di riattletizzazione.

### Il lavoro di forza

La forza è un parametro che la letteratura ritiene fondamentale per scandire le tappe della riabilitazione e per decidere i tempi del *return to play* del nostro atleta. Durante la riabilitazione sono stati effettuati training specifici sullo specchio digitale D-WALL (**foto 4**). Questo *device*, attraverso la telecamera e i *biofeedback* in *real time*, ha reso possibile il monitoraggio costante della qualità degli **esercizi bipodalici** (*squat*) e poi **monopodalici**

(affondo, *bulgarian*). In particolare, i focus principali sono stati:

1. la corretta esecuzione dei gesti;
2. modulazione i gradi di lavoro delle singole articolazioni dell'arto inferiore;
3. il rinforzo del tronco;
4. la corretta distribuzione del carico.

Con il progredire della riabilitazione, è stato possibile incrementare i carichi e inserire **esercizi a catena cinetica**



**4** Counter movement jump bipodalico su D-WALL.

**aperta** e di una progressione alla pliometria e al salto. Il livello raggiunto da Edgardo ha permesso di introdurre intorno al 120° giorno i **test di salto sport specifici**:

1. *Counter Movement Jump* in posizione bipodalica (CMJ BIPO), i cui risultati sono riportati nella **figura 4**;
2. *Counter Movement Jump* in posizione monopodalica (CMJ MONO);
3. *Counter Movement Jump* con braccia libere in posizione monopodalica (CMJFA MONO).

Attraverso le diverse tipologie di salto è possibile valutare **l'andamento della forza nel tempo**, calcolare la corrispondente accelerazione, la velocità, la potenza e l'altezza; così si riescono a definire strategie ed entità di azione muscolare, coordinativa e di movimento anche in relazione al tipo di salto effettuato. Nei casi di salti monopodalici (**tabella E**) inoltre è possibile una **comparazione tra arto sano e operato**.

I test hanno evidenziato:

1. sbilanciata gestione del carico in spinta e in atterraggio nel CMJ

**4**



2. elevato picco di forza in fase eccentrica, valore sicuramente da migliorare per ridurre il rischio di ulteriori sovraccarichi e infortuni;
3. differenza di forza e nella potenza nei salti monopodalici tra arto sano e lesionato.

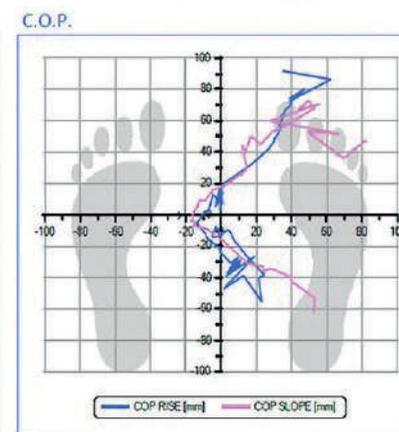
Anche il contributo delle braccia nel **CMJFA monopodalico** risulta minore nell'arto lesionato rispetto

	L	R
HEIGHT [m]	0,22	0,30
MAX FORCE [N]	1347	1533
MAX ABS. POWER [W]	1709	2746
FLIGHT TIME [s]	0,22	0,34
MAX SPEED [m/s]	1,30	1,84
MAX ACCELERATION [m/s <sup>2</sup> ]	12,11	18,91
MAX REL. POWER [W/kg]	17,8	28,6
TOTAL WORK [J]	205	279

**E**

	L	R
HEIGHT [m]	0,24	0,39
MAX FORCE [N]	1413	1716
MAX ABS. POWER [W]	1793	2794
FLIGHT TIME [s]	0,24	0,37
MAX SPEED [m/s]	1,62	2,42
MAX ACCELERATION [m/s <sup>2</sup> ]	11,26	17,55
MAX REL. POWER [W/kg]	19,5	30,4
TOTAL WORK [J]	216	352
COORDINATION TIME [%]	9,1	24,08

**F**



a quello sano, inoltre non contribuisce in maniera ottimale nell'incremento dell'indice di coordinazione (**tabella F**). Come si può notare a destra questo risulta intorno al 24% mentre nel sinistro intorno al 9%. Tale test è fondamentale perché è legato al gesto del muro, dello stacco e

**Tabella E**  
Risultati del primo test di counter movement jump monopodalico.  
**Tabella F**  
Risultati del primo test di counter movement jump monopodalico senza braccia.  
**Figura 4**  
Grafici dei risultati del primo test di counter movement jump bipodalico.

atterraggio dopo la schiacciata perciò importantissimi da analizzare.

A distanza di un mese (**figura 5**) i risultati risultano promettenti: infatti è migliorata la gestione del carico nel salto bipodalico, così come i parametri di espressione di forza e potenza. Pure l'espressione della forza e della potenza rispetto al test 1 è cresciuta, inoltre l'arto lesionato si avvicina alle prestazioni di quello sano (**tabella G**). Quasi raddoppiato anche l'indice di coordinazione dell'arto lesionato e ottimo il miglioramento delle prestazioni del salto con le braccia sia sull'elevazione del salto sia dei parametri di efficacia del salto (**tabella H**).

### Conclusioni

Nell'ambito del recupero post infortunio dello sportivo, la tecnologia e il *biofeedback* tecnologico sono potenti strumenti al servizio dell'operatore, che valorizzano la sua professionalità e lo guidano nel disegno del miglior percorso personalizzato per l'atleta. Approcciare un *iter* di riabilitazione dello sportivo, dando valore al

**dato oggettivo**, definisce una relazione in cui il metodo di lavoro e l'innovazione del metodo stesso sono centrali, ma soprattutto a una relazione in cui l'atleta e tutto ciò che ruota attorno alla **sfera motivazionale**, oltre che funzionale, sono al centro del dibattito. I dati emessi in tempo reale e la costante personalizzazione del percorso forniscono all'atleta la consapevolezza dei continui

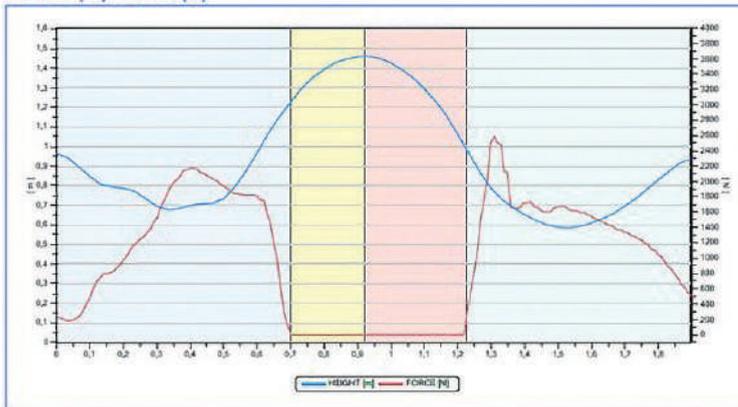
miglioramenti, motivando a non demordere mai durante l'*iter* di recupero. La tecnologia valutativa di cui nell'articolo pone il professionista di fronte a nuove sfide e opportunità tutte da cogliere con vantaggio per il proprio metodo di lavoro e per i propri atleti. ■

**Tabella G**  
Risultati e miglioramenti del secondo test di counter movement jump monopodalico.  
**Tabella H**  
Risultati del secondo test di counter movement jump monopodalico senza braccia.  
**Figura 5**  
Grafici dei risultati del secondo test di counter movement jump bipodalico.

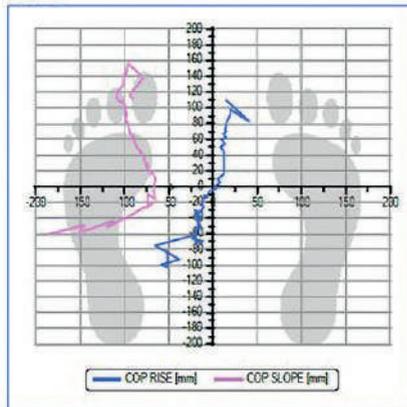
RESULTS	L	R
HEIGHT [m]	0,30	0,37
MAX FORCE [N]	1618	1727
MAX ABS. POWER [W]	2468	3356
FLIGHT TIME [s]	0,31	0,39
MAX SPEED [m/s]	1,67	2,20
MAX ACCELERATION [m/s <sup>2</sup> ]	17,32	15,20
MAX REL. POWER [W/kg]	26,3	35,7
TOTAL WORK [J]	273	346

RESULTS	L	R
HEIGHT [m]	0,35	0,42
MAX FORCE [N]	1830	1871
MAX ABS. POWER [W]	3706	4769
FLIGHT TIME [s]	0,36	0,42
MAX SPEED [m/s]	2,26	2,62
MAX ACCELERATION [m/s <sup>2</sup> ]	16,59	21,57
MAX REL. POWER [W/kg]	39,3	50,6
TOTAL WORK [J]	326	385
COORDINATION TIME [%]	16,12	9,95

HEIGHT [m] - FORCE [N]



C.O.P.



G

H

5